

PROGRESS

PROGram for Research on Embedded Systems and Software

Aanvraag voor de nieuwe fase van dit onderzoeksprogramma

Uit de Bouwstenennotitie ICT-onderzoek en –innovatie:

Ook stimuleringsinstrumenten voor ICT-onderzoek dienen doorstroming van kennis te bevorderen. Daarom beveelt de taskforce ICT-en-Kennis de brede toepassing aan van de succesvolle zogenaamde "PROGRESS-formule". Dit is een vorm van stimulering waarbij publiek en privaat onderzoek, aanbieders en vragers van onderzoek, programmatisch nauw samenwerken en waarbij fundamenteel, strategisch, en toepassingsgericht onderzoek ("concurrent") hand in hand gaan.

(In oktober 2001 door Kabinet aangeboden aan de Tweede Kamer)

Versie: 2.2

Datum: 6 december 2002

Table of Contents

0 MANAGEMENT SUMMARY	1
1 INLEIDING	3
1.1 Inleiding	3
1.2 Korte karakterisering van embedded systems	3
1.3 Het belang van software en embedded systems	4
1.4 Het belang van een gezamenlijk onderzoeksprogramma embedded systems	7
1.5 Financiële middelen voor PROGRESS	10
2 EEN NATIONAAL ONDERZOEKSPROGRAMMA EMBEDDED SYSTEMS	13
2.1 Embedded Systems	13
2.2 Economische doelstellingen	16
2.3 De noodzaak van een vervolg op PROGRESS	17
2.4 Programmasturing	18
3 HET LOPENDE PROGRESS-PROGRAMMA	21
3.1 Projecten	21
3.2 Gebruikers	23
3.3 Tenders	23
3.4 Embedded Systems Roadmap	24
4 HET PROGRAMMA EN DE WERKWIJZE	27
4.1 Inleiding	27
4.2 Programmalijnen	28
4.3 Focussing en zwaartepuntvorming	33
4.4 Innovatie	34
4.5 Werkwijze	35
5 FINANCIËLE EN JURIDISCHE ASPECTEN.	39
5.1 Financiële aspecten	39
5.2 Juridische aspecten	40
6 BESTUURLIJKE INBEDDING	43
7 REFERENTIES	45
APPENDIX A: VOORBEELDEN VAN EMBEDDED SYSTEMS	47
APPENDIX B: EMBEDDED SYSTEMS IN DE NATIONALE ONDERZOEKSAGENDA INFORMATICA	49
APPENDIX C: EMBEDDED SYSTEMS ROAD MAP	51

0 Management summary

Dit rapport bevat de aanvraag voor subsidie voor de nieuwe fase van PROGRESS, het onderzoeksprogramma op het gebied van embedded systems dat in 1998 is gestart. PROGRESS beoogt een sterk vernieuwde aanpak door nauwkeurige sturing van het onderzoek aan de hand van de Embedded Systems Roadmap 2002 (door PROGRESS ontwikkeld). Deze aanvraag wordt gedaan door de programmacommissie van PROGRESS en is tot stand gekomen als gevolg van nauwe samenwerking tussen industrie en wetenschap.

Een embedded system is een informatieverwerkend systeem dat is ingebouwd of "ingebed" in een apparaat of systeem waarvan het de functionaliteit en de besturing geheel of gedeeltelijk bepaalt; het informatieverwerkend systeem en het omvattende systeem zijn zodanig van elkaar afhankelijk dat het een zonder het ander geen betekenis heeft.

Nederland kent een aanzienlijke bedrijvigheid op het gebied van embedded systems. De ontwikkeling van deze systemen vindt vooral plaats in de metaal- en elektrotechnische industrie en in de dienstverlening. Er is een brede groep bedrijven die zich bezig houdt met de ontwikkeling van embedded systems, van zeer groot tot klein. De technologie is met name van belang voor industriële producten, waarin besturing en signaalverwerking een rol spelen, zoals in elektronische componenten, in telecommunicatieapparatuur, in professionele systemen en in consumentenelektronica. Om dit soort bedrijvigheden voor Nederland te behouden, zullen er speciale maatregelen genomen moeten worden op het gebied van onderzoek in embedded systems. Een bundeling van krachten zou een versnelling kunnen bewerkstelligen in dit onderzoek en zou er toe kunnen leiden dat niet alleen deze industrie voor Nederland behouden blijft, maar zelfs dat de Nederlandse industrie een belangrijke voorsprong krijgt ten opzichte van buitenlandse concurrentie.

Door verschillende ontwikkelingen zal er in onderzoek gericht op embedded systems ruime aandacht moeten zijn voor innovaties. Met name de sterke toename van communicatiemogelijkheden, maar ook de toenemende afhankelijkheid van hardware en software zullen leiden tot wezenlijke vernieuwing en uitbouw van de interdisciplinariteit van het onderzoek naar gebieden die traditioneel nauwelijks banden met het informatica onderzoek onderhielden.

Het oorspronkelijke voorstel voor PROGRESS [1] betrof een onderzoeksprogramma van 6 jaar met een totaal aan kosten van circa 8 miljoen euro. Hiervan zou ongeveer 5.5 miljoen euro uit subsidie komen, terwijl de industrie circa 2.5 miljoen euro zou bijdragen. Drie jaar na aanvang was al het geld verdeeld, waardoor de doorlooptijd 5 jaar zal bedragen. Uiteindelijk wordt in het kader van PROGRESS ongeveer 11 miljoen euro besteed, waarvan 6 miljoen is verkregen uit subsidie en 5 miljoen uit bijdragen van de industrie.

In 1998 was de voorgestelde verhouding tussen subsidie en bijdragen vanuit het bedrijfsleven 2 (:) 1; uiteindelijk is deze verhouding 1 (:) 1 geworden. Op basis van de economische realiteit wordt in dit vervolgvorstel vooralsnog uitgegaan van de verhouding van 2 (:) 1 uit het oorspronkelijke voorstel van PROGRESS. In het nieuwe voorstel gaat het wederom om een programma met een doorlooptijd van 6 jaar. We gaan er hierbij vanuit dat er nu 9 miljoen euro te besteden zal zijn, hiervan verwachten we 6 miljoen uit subsidies te verkrijgen en 3 miljoen uit bijdragen vanuit het bedrijfsleven.

Uit het lopende PROGRESS-programma is veel lering getrokken en is een groot aantal verbeteropties gegenereerd. Deels hebben deze opties te maken met de “huishouding” van PROGRESS: de wijze waarop de Programmacommissie haar opdrachten vervult. Slechts weinig van deze punten zult u in deze aanvraag tegenkomen. Andere verbeteropties houden verband met het programma en met de communicatie tussen de Programmacommissie en het industriële en universitaire veld. Deze laatste opties vindt u wel degelijk in deze aanvraag terug. Voor een overzicht van het totaal wordt U verwezen naar de Zelfevaluatie van PROGRESS.

~

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Dit rapport bevat de aanvraag voor subsidie voor de nieuwe fase van PROGRESS, het onderzoeksprogramma op het gebied van embedded systems dat gestart is in 1998 op basis van initiatieven vanuit het bedrijfsleven (zie [1]).

In 1998 besloten het Ministerie van Economische Zaken, de Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), het gebied Exacte Wetenschappen van NWO en de Technologiestichting STW¹ tot instelling van het programma door het ter beschikking stellen van ruim 5.5 MEuro aan subsidiegelden. Voorwaarde voor het programma was dat het uit te voeren onderzoek een solide draagvlak zou hebben binnen de (Nederlandse) industrie. Dit moest gerealiseerd worden door per onderzoeksproject een bijdrage te verlangen van ten minste één industriële (commerciële) partner. Deze bijdrage zou financieel kunnen zijn, maar ook een inzet van materialen of eigen personeel. Wel moest in het laatste geval aangetoond worden dat er sprake is van een echte samenwerking. Aan de andere kant mocht de industrie niet de agenda gaan bepalen.

PROGRESS heeft positieve resultaten opgeleverd (zie ook hoofdstuk 3). Met dit programma is het fundament gelegd, waarop de nieuwe fase van PROGRESS kan voortbouwen, door gebruik te maken van de ervaringen en van de ontwikkelde netwerken en structuren. Alhoewel PROGRESS succesvol was (en is), is het niet voldoende, ook gezien de ontwikkelingen in het buitenland. Verdere inspanningen zijn nodig om de gestelde ambities te realiseren. De in opdracht van PROGRESS ontwikkelde Embedded Systems Roadmap 2002 biedt uitgelezen mogelijkheden om het onderzoek te focussen op de knelpunten.

Om dit rapport leesbaar te maken, los van de aanvraag voor PROGRESS uit 1998 [1], wordt op een aantal plaatsen gebruik gemaakt van tekst uit [1]. Dit is bijvoorbeeld het geval in 1.2, waar een korte karakterisering wordt gegeven van embedded systems.

Naast deze karakteristiek bevat dit hoofdstuk 1 korte introducties tot de hoofdstukken die daarna volgen.

1.2 Korte karakterisering van embedded systems

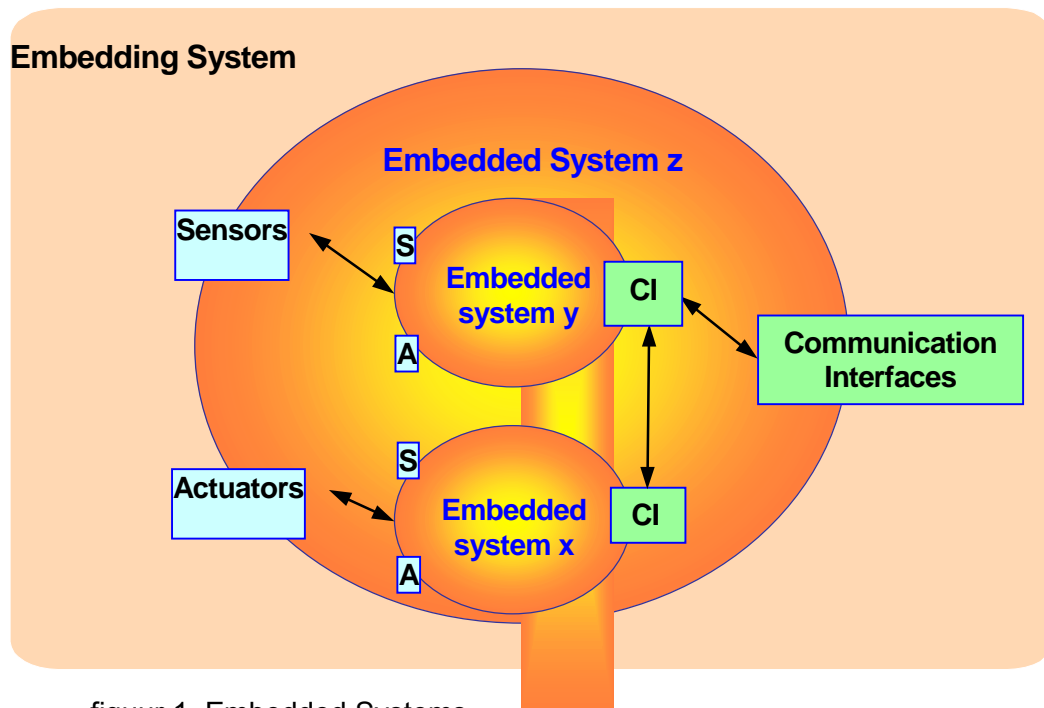
Een embedded system is een informatieverwerkend systeem dat is "ingebouwd" of "ingebed" in een apparaat of systeem waarvan het de functionaliteit en de besturing geheel of gedeeltelijk bepaalt. Het informatieverwerkende systeem en het omvattende systeem zijn zodanig van elkaar afhankelijk dat het één zonder het ander geen betekenis heeft. Het informatieverwerkende systeem kan, maar hoeft geen als zodanig herkenbare computer te bevatten; het kan bijvoorbeeld ook zijn opgebouwd uit een verzameling voor de toepassing specifieke, deels programmeerbare elementen.

We kunnen een embedded system karakteriseren door de componenten en de opbouw van het systeem te beschouwen. Een embedded system kunnen we dan beschrijven als een systeem van een aantal samenwerkende processors met een onderlinge communicatiestructuur en een al dan niet gemeenschappelijke geheugenstructuur. Bij processors kunnen we bijvoorbeeld denken aan general purpose microprocessors, aan aangepaste processoren

¹ STW vertegenwoordigt tevens het gebied Technische Wetenschappen binnen de NWO organisatie.

(zoals DSP's (digitale signaal processors)) en interface units. Ook de communicatie kan op een aantal manieren gerealiseerd worden: van een of meer busachtige verkeerswegen tot specifieke point-to-point verbindingen. Daarnaast kunnen ook de toegepaste geheugens grote verschillen vertonen en al dan niet in een hiërarchische structuur zijn opgebouwd.

Embedded systems staan in nauwe interactie met hun omgeving - zij zijn daarin "ingebod". Vanuit de omgeving ontvangen zij stimuli, verkregen door een veelvoud van sensoren of via een of meerdere communicatiekanalen. Ook geven zij signalen aan hun omgeving af, meestal als stuursignalen voor actuators, maar ook beelden en geluiden kunnen als output beschouwd worden.



figuur 1. Embedded Systems

In embedded systems bestaat een sterke koppeling tussen de hardware en de erin opgenomen software. Het kan zijn dat er m.b.t. de hardware geen ontwerpvrijheid is, omdat deze al van tevoren vastligt, of dat er gekozen moet worden uit het commerciële aanbod. Het komt echter ook voor dat het ontwerp van een hardware architectuur een wezenlijk deel uitmaakt van de ontwerpinspanning voor het embedded system.

Zie Appendix A voor voorbeelden van embedded systems.

1.3 Het belang van software en embedded systems

Software

Software wordt steeds meer een succesbepalende factor voor ondernemingen en krijgt daardoor ook een steeds grotere strategische betekenis. Om dit belang van software te stipuleren en verdere mogelijkheden te onderzoeken organiseerde het ministerie van Economische Zaken reeds in 1995 een conferentie met als motto: *"Software in Nederland. Motor voor nieuwe producten en diensten?"* (zie ook [2]) In het kader van deze conferentie voerde IDC-Benelux in opdracht van het ministerie in begin 1995 een onderzoek uit dat zich

richtte op het verkrijgen van een beter inzicht in het strategisch belang van software ontwikkeling voor het Nederlandse bedrijfsleven. In het onderzoek werd aan vier soorten software aandacht besteed:

- embedded software (software vastgelegd in halfgeleiders en/of ingebouwd in industriële producten),
- pakketsoftware (bedoeld om te worden verkocht aan derden),
- telecommunicatie- en multimediale software en
- software voor eigen gebruik ontwikkeld in eigen beheer.

Het economisch belang van software blijkt onder meer uit de omvangrijke budgetten die er binnen het bedrijfsleven voor software worden vrijgemaakt. Deze budgetten zijn enerzijds bedoeld voor externe softwarekosten, zoals de aanschaf van pakketsoftware en het verstrekken van opdrachten aan derden voor de realisatie van maatwerkapplicaties. Anderzijds worden de budgetten gebruikt voor interne IT-services. Dit laatste betreft dan kosten aan eigen personeel voor werkzaamheden rond software en software ontwikkeling.

Een conclusie van de conferentie luidt dat de toegevoegde waarde, prijs en functionaliteit van industriële producten en processen en van diensten in toenemende mate worden bepaald door de functionaliteit en de kwaliteit van de daarin besloten software en de snelheid en effectiviteit waarmee deze geproduceerd kan worden. De levenscyclus en "time-to-market" van producten worden steeds korter, hetgeen hoge eisen stelt ten aanzien van de snelheid en effectiviteit van het ontwikkelproces van software.

Software en software ontwikkeling worden steeds belangrijker voor het bedrijfsleven, niet alleen vanwege de hoeveelheid geld die eraan besteed wordt, maar vooral ook gezien de strategische waarde van software.

In 1998 verscheen het rapport "Technology Radar" [3]. Dit rapport is één van de resultaten van een "Technology Foresight study" die werd uitgevoerd voor het Ministerie van Economische Zaken. De studie had twee hoofdoelen:

- Vaststellen welke technologiegebieden in de komende tien jaar waarschijnlijk van strategisch belang zullen zijn voor het Nederlandse bedrijfsleven.
- Onderzoeken of er voldoende kennis wordt opgebouwd op de gebieden die van strategisch belang zijn.

Het rapport benoemde 15 strategische technologieën voor Nederland. Niet minder dan 6 daarvan waren ICT- technologieën. Data- en kennissystemen en Software Engineering stonden in de lijst van 15 boven aan wat hun bijdrage betreft aan het concurrentievermogen van de Nederlandse economie.

De volgende deelgebieden van de Software Engineering werden aangewezen als zijnde belangrijk voor verdere technologieontwikkeling:

- Software architectuur – "de onderverdeling van een systeem in componenten en de wijze waarop deze componenten samenwerken om de functies van het geheel te realiseren"
- Specificatiemethoden – "deze methoden hebben tot doel de precieze eisen van de gebruikers van een systeem te achterhalen en deze wensen te vertalen in exacte eenduidige uitspraken als leidraad voor de verdere ontwikkeling van het systeem"
- Constructiemethoden – "deze methoden zijn van groot belang bij het industrialiseren van het software-ontwikkelproces; het doel is daarbij om sneller en flexibeler applicaties te kunnen ontwikkelen; op componenten gebaseerde

technologie speelt hierbij de belangrijkste rol”

- Testmethoden – “testmethoden zijn van groot belang voor een effectieve en efficiënte afstemming van componenten van verschillende leveranciers”
- Interoperabiliteit – “hierbij gaat het om de integratie van en verbinding tussen verschillende systemen”

In de nota "Kennis in beweging" [4] uit 1995 wordt ten aanzien van de informatiesector de doelstelling geformuleerd om Nederland in termen van economische groei en werkgelegenheid tot de koplopers van Europa te laten behoren. Met de conferentie van 31 mei 1995 werd software geïdentificeerd als een strategische concurrentiefactor voor de informatiesector en belangrijke delen van de overige industrie- en dienstensectoren. In de Technologie Radar wordt software engineering aangewezen als een belangrijk gebied voor verder onderzoek.

Er liggen op het softwareterrein zeker kansen en mogelijkheden voor het Nederlandse bedrijfsleven, maar er zullen maatregelen getroffen moeten worden om deze mogelijkheden ook daadwerkelijk te benutten.

Embedded software en embedded systems

Nederland kent een aanzienlijke bedrijvigheid op het gebied van embedded systems. De ontwikkeling van deze systemen vindt vooral plaats in de metaal- en elektrotechnische industrie en in de dienstverlening. Er is een brede groep bedrijven die zich bezig houdt met de ontwikkeling van embedded systems, van zeer groot tot klein. De technologie is met name van belang voor industriële producten, waarin besturing en signaalverwerking een rol spelen, zoals in elektronische componenten, in telecommunicatieapparatuur, in professionele systemen en in consumentenelektronica. Om dit soort bedrijvigheden voor Nederland te behouden, zullen er speciale maatregelen genomen moeten worden om qua kennis en kunde (beter) bij te blijven.

Gezien de intrinsieke aard is de bijdrage van de embedded software aan een product moeilijk in geld uit te drukken. Maar bij professionele producten, als medische systemen, communicatieapparatuur en defensiesystemen, neemt de software al zestig tot tachtig procent van de totale ontwikkelkosten voor zijn rekening. Bij consumentenartikelen ligt dat momenteel rond twintig procent. Er is daar echter een sterke stijging te constateren. Verwacht wordt dat voor producten als tv's, videorecorders en dergelijke het percentage over enkele jaren rond de vijftig zal liggen.

Reeds in 1997 werd door het Ministerie van Economische Zaken het belang van embedded software onderstreept. In augustus van dat jaar werd een rapport gepubliceerd met als titel: *"Embedded Software Onderzoek in Nederland. Analyse en Resultaten"* [5]. Het doel van het onderzoek was het verschaffen van informatie betreffende kwantitatieve en kwalitatieve kenmerken van embedded software in Nederland. De kwantitatieve gegevens werden voorts gebruikt voor het schatten van de totale markt voor embedded software. Enkele belangrijke uitkomsten van het onderzoek zijn:

- Het belang van embedded software voor de concurrentiepositie van producten en ondernemingen is sterk toegenomen en zal ook in de komende jaren verder groeien.
- Bedrijven die embedded software gebruiken hebben een relatief hoge omzet, niet alleen in de totale markt, maar ook gezien naar individuele grootte categorieën.
- Een belangrijk aspect, dat vaak terugkomt in gesprekken met bedrijven die embedded software toepassen, is de positieve invloed van embedded software op de concurrentiepositie van hun producten. Het onderzoek toont aan dat embedded software een zeer belangrijke bijdrage levert aan de waarde en de concurrentiekracht

van de producten. Beheersing van embedded software technologie is essentieel voor toekomstige commerciële successen.

1.4 Het belang van een gezamenlijk onderzoeksprogramma embedded systems

In 1.3 is aan de hand van rapporten uit 1996, 1997 en 1998 aangegeven dat het belang van software en embedded systems reeds lang werd onderkend. In deze sectie willen we laten zien dat ook in de jaren daarna dit belang uit vele rapporten blijkt. Daarnaast blijkt uit de rapporten dat er veel belang wordt gehecht aan de samenwerking tussen de universitaire wereld en het bedrijfsleven. Wij willen hier uit enkele van deze rapporten citeren om het belang van PROGRESS te illustreren.

Als vervolg op de in 1995 georganiseerde conferentie "Software in Nederland. Motor voor nieuwe producten en diensten?" formuleerde de overheid het actieplan **SWAP 2000** (Software Actieplan 1996 – 2000 [2]) dat in april 1996 verscheen. Met dit actieplan wilde de overheid bewerkstelligen, dat de positie op het gebied van software een belangrijke ondersteunende rol zou gaan spelen bij de Nederlandse ambitie om in de ICT-sector tot de Europese koplopers te gaan behoren.

In de nota werden knelpunten geformuleerd, die belemmerend werken op de uitbouw van de Nederlandse positie op het gebied van software:

- Veel van de thans in gebruik zijnde software is gebaseerd op technologie van meer dan tien jaar geleden. Een substantiële technologiesprong is bij veel toepassingen nodig, omdat de huidige en toekomstige problemen niet meer op te lossen zijn op basis van deze verouderde technologie.
- Het bedrijfsleven is sterk op de korte termijn georiënteerd. Gevolg is dat software vaak op ambachtelijke wijze wordt ontwikkeld met weinig aandacht voor gestructureerde R&D.
- Tussen universiteiten/hogescholen en het bedrijfsleven is sprake van onvoldoende aansluiting, zowel waar het onderzoek als opleiding betreft.
- Nederlandse producenten van embedded software blijken vaak niet of slecht in staat om bij hun productontwikkeling de steeds kortere "time-to-market" van de industriële opdrachtgever te volgen. Dit vergroot het risico van uitbesteding naar het buitenland voor een belangrijke groeiemarkt.
- De participatie van het Nederlandse bedrijfsleven in Europese onderzoeksprogramma's laat met name bij softwaregerelateerde onderwerpen (veel) te wensen over.

In het rapport werden drie actielijnen gedefinieerd:

1. *Kennisontwikkeling en opleiding*
2. *Projecten met en in de markt*
3. *Bewustwording en uitstraling*

Met betrekking tot actielijn 2 werd in het rapport gesteld: "Deze actielijn is gericht op stimulering van softwaregerelateerde R&D en strategische samenwerkingsprojecten vanuit het regulier instrumentarium van EZ. Bij softwaregerelateerde strategische samenwerkingsprojecten zal in het bijzonder aandacht besteed worden aan het voorbeeldkarakter en de uitstraling naar het overig bedrijfsleven." En met betrekking tot actielijn 3: "In het kader van dit actieplan zullen activiteiten ontwikkeld worden die moeten leiden tot een duurzaam netwerk in het Nederlands bedrijfsleven en de kennisinfrastructuur voor software(-gerelateerde) aangelegenheden."

In de nota "**De Digitale Delta**" [6] formuleert de Nederlandse overheid in 1999 de ambitie om voor Nederland een positie te verzekeren in de kopgroep van landen die zijn voorbereid op de komende informatiemaatschappij. De nota geeft aan op welke wijze de overheid een bijdrage wil leveren aan de ontwikkeling van deze informatiemaatschappij. In de nota wordt gesteld dat Nederland - om zijn ambities te verwezenlijken - moet beschikken over een excellente ICT-basis. Vijf pijlers worden in de nota geïdentificeerd die ieder voor zich zouden moeten bijdragen aan het creëren van een goede uitgangspositie voor Nederland en die tezamen de ICT-basis moeten versterken. De tweede pijler handelt over "Kennis en Innovatie" op het gebied van de ICT. In de nota "**Concurreren met ICT-competenties**" [7] uit 2000 worden plannen gepresenteerd waarmee het kabinet de ambities van deze belangrijke pijler in concrete acties wil uitwerken. In de samenvatting van het rapport wordt gesteld dat de Nederlandse ICT-kennisinfrastructuur sterk is in theoretisch informatica onderzoek en in deelgebieden van het micro-elektronica- en het telecommunicatie onderzoek. Daarnaast worden in de nota enkele problemen gesignaleerd:

- te weinig bedrijven houden zich in voldoende mate met ICT-vernieuwing bezig;
- de kennisinfrastructuur blijkt, als het gaat om ICT-onderzoek², onvoldoende strategisch gepositioneerd;
- de interactie van die kennisinfrastructuur met het bedrijfsleven laat te wensen over en mede als gevolg daarvan verloopt de innovatieve toepassing van kennis te traag;
- er zijn te weinig ICT-deskundigen, hetgeen de Nederlandse concurrentiekracht bedreigt.

De verkenningscommissie "Kennis voor de Netwerkeconomie" gaat in haar rapport "**Verlangen naar de eindeloze zee**" [8], uitgekomen in 2001, in op de relatie tussen de kennisinfrastructuur en het bedrijfsleven. De commissie was gevraagd prioritaire kennisthema's te benoemen voor de komende tien jaar en aanbevelingen te doen voor de organisatie en inrichting van de ICT-gerelateerde publieke kennisinfrastructuur in ons land. Maar de commissie vindt het onverstandig en onwenselijk om van bovenaf en vooraf prioritaire ICT-kennisgebieden aan te wijzen als basis voor programmatische aansturing van de kennisinfrastructuur. De commissie vindt het belangrijker dat een beleid wordt geformuleerd dat gericht is op een betere wisselwerking en netwerkvorming tussen enerzijds kennisinstellingen en anderzijds bedrijven en andere organisaties.

Zonder prioritaire thema's voor kennisontwikkeling neer te willen zetten, heeft de commissie wel een aantal belangrijke uitdagingen aan de horizon benoemd, waar de komende jaren aan gewerkt moet worden:

- ICT-applicaties ter ondersteuning en facilitering van 'massa-individualisering'
- aanpak van legacy-problemen
- architectuur van informatiesystemen
- betrouwbaarheid en beveiliging van ICT-systemen
- embedded systems

² Binnen het ICT-onderzoek worden veelal drie domeinen onderscheiden: hardware, software en telecommunicatie. Volgens [2] vallen onder ICT-hardware computers en kantoormachines, elektrische motors en generators, elektrische distributie apparatuur, elektrische kabels, batterijen, elektrische lampen, radio- en tv-apparatuur, telecommunicatie-apparatuur (telefoon, incl. mobiel, faxen), hifi-apparatuur, elektronische componenten (chips en halfgeleiders), medische instrumenten, meet- en regelinstrumenten, optische instrumenten, klokken.

- zicht op interactie tussen mens en ICT-benutting
- toegankelijkheid.

De Task Force “ICT-en-kennis” had tot taak concrete aanbevelingen te doen met betrekking tot:

- strategische ICT-kennisopbouw, gegeven het groeiende strategische belang dat aan ICT wordt gehecht;
- ontsluiting ICT-kennismarkt, door verbetering van de samenwerking tussen bedrijven en kennisinstellingen en een grotere transparantie.

In haar rapport “**Samen, strategischer en sterker**” [9] (juli 2001) stelt de commissie dat er op het ICT terrein doelen moeten worden gekozen die het veld inspireren en focuseren. In concreto beveelt de commissie aan om de volgende doelen te concretiseren en na te streven:

- een sterke positie te verwerven op het gebied van de vierde generatie Internet rond 2010;
- te komen tot een versnelling van de toepassing van embedded en distributed systems;
- leidend te worden op het terrein van software engineering en architectuur;
- binnen het multimedia gebied het wetenschappelijk onderzoek te benutten om belangrijke applicatiegebieden (als onderwijs) te veroveren.

De task force vindt het van belang dat de aanpak van het “PROGRESS instrument” wordt gevolgd. Volgens de task force heeft PROGRESS op het terrein van embedded systems veel succes geboekt bij het tot stand brengen van samenwerking tussen bedrijven en kennisinstellingen.

In augustus 2001 is de nieuwe Nationale Onderzoeksagenda Informatica (**NOAG-i**) verschenen [10]. De NOAG-i 2001-2005 is tot stand gekomen in nauwe samenwerking tussen het Informaticaonderzoek Platform Nederland (IPN) en de Adviescommissie Informatica (ACI) van het NWO-gebied Exacte Wetenschappen. Nadat “embedded systems” reeds een van de acht thema’s was van NOAG-i 1997-2000, zien we ook nu weer “embedded systems” als een van de (nu zeven) thema’s op de agenda prijken.

De agenda stelt vast dat het Nederlandse Informaticaonderzoek goed van kwaliteit is. Er blijken drie punten te zijn waar verbetering mogelijk is en waar men de komende vijf jaar aan wil werken:

1. Talentontwikkeling
2. Interactie met aanpalende wetenschappen
3. Kennistransfer en publiekprivate samenwerking op het gebied van generiek, strategisch en toepassingsgericht onderzoek

Met betrekking tot het derde punt stelt het rapport: “Uit onderzoek blijkt dat er tal van contacten bestaan tussen informaticaonderzoekers en potentiële gebruikers van de onderzoeksresultaten: bedrijven, overheidsinstellingen, onderzoeksinstituten buiten de ICT. Desalniettemin laat de kennistransfer te wensen over.”

Zie Appendix B voor enkele aanvullende punten uit NOAG-i 2001-2005

In het voorjaar van 2001 heeft TNO Strategie, Technologie en Beleid (TNO—STB) in opdracht van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen een scan opgezet en

uitgevoerd naar de kennistransfer tussen universiteiten en bedrijven op het gebied van de informatie- en communicatietechnologie (ICT). Uit het rapport “**Universitaire ICT-kennis in Nederland. Van contacten naar contracten**” ([11]) valt de conclusie te trekken dat de kennistransfer van universiteiten naar bedrijfsleven voor verbetering vatbaar is. “Kennisuitwisseling met bedrijven heeft geen hoge prioriteit voor ICT-onderzoekers. De andere werkzaamheden (onderwijs, onderzoek) consumeren veel van de beschikbare tijd en laten relatief weinig tijd om te investeren in het opbouwen van samenwerkingsverbanden en het komen tot projectaanvragen.” Wel worden onderzoeksprogramma’s volgens de “PROGRESS-formule” als een goede en bruikbare benadering voor kennistransfer gezien. De formule wordt als volgt gekarakteriseerd:

- directe betrokkenheid van bedrijven bij opzetten en uitvoeren van het onderzoek;
- gerichtheid op zowel theoretisch, empirisch als experimenteel onderzoek;
- toekenning van middelen vindt plaats op basis van ‘best proposals’ die aan zowel wetenschappelijke als utiliteitscriteria dienen te voldoen;
- langer lopend programma met strategische gerichtheid;
- publiek-private financieringsconstructies.

1.5 Financiële middelen voor PROGRESS

Het oorspronkelijke voorstel voor PROGRESS uit 1998 [1] betrof een onderzoeksprogramma van 6 jaar met een totaal aan kosten van circa 8 miljoen euro. Hiervan zou ongeveer 5.5 miljoen euro uit subsidie komen, terwijl de industrie circa 2.5 miljoen euro zou bijdragen. Na drie jaar echter was al het geld al gealloceerd, waardoor de doorlooptijd 5 jaar zal bedragen. Uiteindelijk wordt in het kader van PROGRESS echter ongeveer 11 miljoen euro besteed, waarvan 6 miljoen is verkregen uit subsidie en 5 miljoen uit bijdragen van de industrie. Daarbij dragen ook de universiteiten uit eigen middelen nog voor ca. 6 miljoen euro bij. Bij de start van het programma was de verwachting dat het door de overheid beschikbare onderzoeksgeld zou leiden tot een ‘matching’ van ongeveer 50% vanuit de industrie (2.5 miljoen euro). Deze verwachting blijkt sterk overtroffen te worden. de totale bijdrage vanuit de industrie aan PROGRESS bedraagt meer dan 5 miljoen euro(!).

	M€
Ministerie van Economische Zaken ³	1.8
Nederlandse organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek	1.8
Technologiestichting STW	1.7
Gebied Exacte Wetenschappen NWO	0.5
Bijdrage van universiteiten	5.8
Bijdragen vanuit de industrie	5.4
Totaal	17.0

tabel 1: Bijdragen van de verschillende financiers aan het lopende PROGRESS-programma

³ via het IOP programma

In het nieuwe voorstel gaat het wederom om een programma met een doorlooptijd van 6 jaar. We gaan er hierbij vanuit dat er nu ca. 15 miljoen euro te besteden zal zijn, waarvan 6 miljoen uit subsidies, 6 uit universitaire bijdrage en 3 miljoen uit matching door het bedrijfsleven. In 1998 was de voorgestelde verhouding tussen subsidie en bijdragen vanuit het bedrijfsleven 2 (:) 1; uiteindelijk is deze verhouding 1 (:) 1 geworden. Gezien de huidige economische toestand lijkt deze laatste verhouding niet haalbaar; het voorstel is dus om terug te gaan naar verhouding van 2 (:) 1 uit het oorspronkelijke voorstel van PROGRESS.

2 Een nationaal onderzoeksprogramma embedded systems

2.1 Embedded Systems

Enkele eigenschappen

Embedded systems zijn veelal hybride systemen in de zin dat analoge hardware componenten, sensoren of mechatronische delen een rol spelen. Generaliserend kan men zeggen dat hybride systemen bestaan uit een niet-triviale combinatie van discrete en continue componenten. Deze beschouwingwijze is relatief nieuw. Informatici waren tot voor kort gewend om een discrete kijk op de wereld te hebben. Deze kijk heeft voor een aantal toepassingsgebieden geleid tot succesvolle applicaties. Maar bij embedded systemen speelt de omgeving een belangrijke rol en lang niet alle omgevingen zijn op een adequate wijze discreet te beschouwen.

Een essentiële karakteristiek van embedded systems is verder dat randvoorwaarden en beperkingen een cruciale rol spelen voor het correct functioneren van deze systemen, waarmee tijdens het ontwerp al terdege rekening moet worden gehouden. In tegenstelling tot niet-embedded systems, zoals bestuurlijke informatiesystemen en systemen voor wetenschappelijk rekenen, worden er aan embedded systems zeer zware eisen gesteld ten aanzien van temporeel gedrag, correctheid, betrouwbaarheid, veiligheid, beschikbaarheid, fouttolerantie, robuustheid, geheugengebruik, vermogensdissipatie, bestendigheid tegen onvriendelijke milieus en dergelijke. Deze eisen hebben een enorme invloed op het ontwerp van zowel de hardware als de software.

Een wellicht onverwacht aspect is het energieverbruik van embedded systems. In verband met draagbare producten en milieueisen wordt het terugdringen van het energieverbruik steeds belangrijker. Dit vereist speciale architecturen, maar ook de vraag hoe we energiezuinige software ontwerpen, wordt steeds belangrijker.

Veelal is er ook sprake van een sterke interactie met de gebruiker (d.m.v. een speciaal voor dat doel gecreëerde user interface) en de gebruiksomgeving.

De genoemde eigenschappen zijn niet uniek voor embedded software en systems: in veel andere softwaresystemen, zoals bijvoorbeeld bestuurlijke informatiesystemen, geldt evenzeer dat correctheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid belangrijke aspecten vormen, maar voor embedded systems is het voldoen aan dergelijke eisen doorgaans moeilijker, o.a. door de complexiteit en de vaak optredende strijdigheid met eisen aangaande prestaties. Het niet voldoen aan deze eisen kan voor embedded systems min of meer ernstige consequenties hebben, variërend van klachten van gebruikers tot levensbedreigende situaties.

Complexiteit

Een kenmerk van embedded systems is dat deze intrinsiek complex zijn, wat met name een gevolg is van:

- Embedded systems worden specifiek voor een bepaald apparaat / product ontwikkeld en zijn een integraal onderdeel van het apparaat / product (bijvoorbeeld CD-speler, boordcomputer vliegtuig, smartcards, telefooncentrale).
- Embedded systems maken veelal deel uit van reactieve systemen, die op ieder moment op signalen vanuit hun omgeving moeten kunnen reageren, in veel gevallen binnen een vastgestelde tijd.

- Embedded systems bestaat vaak uit verschillende, parallel aan elkaar lopende, maar samenwerkende processen.
- In veel gevallen speelt ook nog een interactie tussen mens en machine een rol, die het voor de gebruiker van een computergestuurd systeem mogelijk moet maken het gedrag van het systeem naar wens te beïnvloeden.

Bij professionele systemen nemen omvang en complexiteit van de erin opgenomen software sterk toe als gevolg enerzijds van de mogelijkheden die de moderne chiptechnologie biedt en anderzijds van de steeds ingewikkelder wordende omgevingen waarbinnen dergelijke systemen moeten opereren. In geavanceerde producten zal steeds meer sprake zijn van video, beeldbewerking en multimedia, hetgeen nieuwe eisen stelt aan de embedded software in het product. Daarnaast wordt in toenemende mate gevraagd om fouttolerante en veilige systemen, met name in de sfeer van professionele systemen. Betrouwbaarheid en kwaliteit zijn de belangrijkste eisen die gesteld worden, terwijl kwaliteit en kosten het meest voor verbetering vatbaar zijn. Deze ontwikkelingen maken dat de huidige praktijk van software ontwikkeling voor embedded systems in professionele systemen op afzienbare termijn volstrekt ontoereikend zal worden.

De eisen die aan consumentenproducten gesteld worden, komen steeds meer overeen met die voor professionele producten. Er is sprake van een verschuiving van functionaliteit en technologie van professionele producten naar consumentenproducten. Dit heeft zijn invloed op de aard en omvang van de software in de consumentenartikelen. De omvang van de software die tegenwoordig in tv's zit komt overeen met de omvang van de software die een twintigtal jaren geleden in telefooncentrales was te vinden. Bij de consumentenartikelen is echter een nog striktere beheersing van de kosten noodzakelijk.

Ook in bijvoorbeeld geïntegreerde schakelingen neemt het belang van software toe. Over enige tijd zijn chips alleen nog maar te verkopen als ook de bijbehorende software wordt meegeleverd.

Systemaspecten

De complexiteit van apparatuur neemt toe en daarmee ook de complexiteit van de benodigde softwaresystemen. Bovendien worden embedded systems op steeds grotere schaal toegepast in zowel massaproductie goederen als in systemen waar de prestatie-eisen aan de grens van het mogelijke liggen, waardoor een optimale afstemming van software en hardware noodzakelijk wordt. Dit leidt er toe dat hardware en software niet in isolatie van elkaar mogen worden ontworpen, maar dat hardware- en software componenten van systemen gelijktijdig dienen te worden ontworpen (co-design).

In een aantal gevallen is de architectuur van een embedded systems vrij te kiezen. Vanuit het op te lossen probleem kan een eigen architectuur geoptimaliseerd worden. Er kan een keuze mogelijk zijn van de aantallen en soorten processoren. Hierbij dient uiteraard rekening te worden gehouden met de benodigde reken capaciteit en de gevraagde functionaliteit. Wat het laatste punt betreft kan bijvoorbeeld gekozen worden voor dedicated hardware of voor software. Zoals we eerder zagen kunnen er ook meerdere mogelijkheden zijn voor het realiseren van de communicatie. Ditzelfde geldt voor het geheugen. Architectuurplanning is alleen mogelijk als er een goede kennis bestaat van hardware- en software mogelijkheden en -beperkingen.

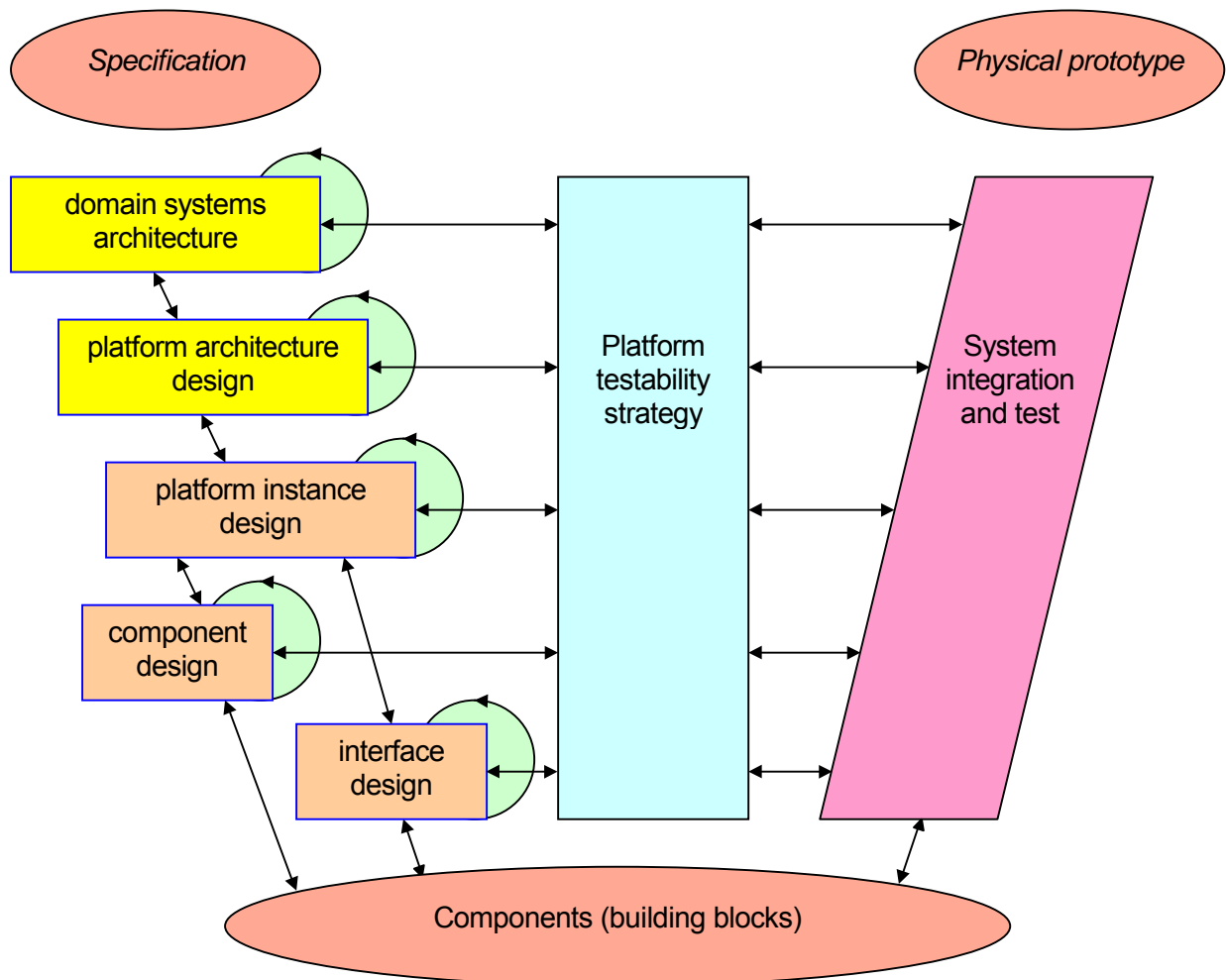
Kennis op het niveau van systemen wordt steeds belangrijker. Daarbij wordt ook de invloed van de verschillende disciplines steeds groter. In professionele systemen, maar in snel toenemende mate ook in consumentenelektronica, speelt - door de koppeling van

apparaten en de opkomst van netwerken - het systeemaspect een steeds voornamere rol.

Dit stelt nog hogere eisen aan de embedded software dan we al eerder zagen. Uit het oogpunt van portabiliteit en koppelbaarheid neemt de noodzaak voor het gebruik van formele en de-facto standards voor embedded software toe. Ook het aspect van het beschrijven van de delen van de systemen wordt steeds belangrijker. Om te kunnen komen tot grootschalig gebruik van bestaande componenten is het niet voldoende dat dergelijke componenten zodanig zijn geconstrueerd dat inpassing in een groter geheel mogelijk is (zoals bijvoorbeeld in een netwerk), maar moet ook beoordeeld kunnen worden welke component voor welk deel van het systeem geschikt is. Daarnaast is redeneren over systeemgedrag alleen mogelijk indien goede (formele) beschrijvingen van alle delen voorhanden zijn.

Ontwerp

Embedded systems stellen bijzondere eisen aan de diverse ontwikkel- en onderhoudsprocessen, voornamelijk door de sterke koppeling tussen de software en de



figuur 2. Een Embedded Systems design flow

“omgevende” hardware en de veelal complexe interactie tussen de verschillende delen van het systeem. Gebruik van een standaard software ontwikkelomgeving is lang niet

altijd mogelijk. De genoemde interactie kan ook leiden tot een moeilijker testproces. Vanwege de genoemde complexiteit, de vereiste correctheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid, en vanwege de speciale eigenschappen van embedded systems die samenhangen met de extra vrijheidsgraden, is het noodzakelijk dat geavanceerde methoden gebruikt worden bij het specificeren, implementeren, verifiëren, testen en onderhouden van embedded systems. De zowel voor een hoge productiviteit als voor de gewenste kwaliteit vereiste methodische aanpak van het ontwerpen van embedded systems ontbreekt echter helaas nog. In de praktijk leidt dit er toe dat bij het ontwerp van embedded systems gebruik gemaakt wordt van ad hoc oplossingen en van voor niet-embedded systems geconstrueerde oplossingen en gereedschappen, waarvan de geschiktheid dan ook de nodige vragen oproept.

Voor het doeltreffend ontwerpen van embedded systems is een integrale aanpak van de hierboven geschetste probleemgebieden vereist. Dit voorstel beoogt met name dat onderzoek te stimuleren dat uitstijgt boven de traditionele vragen binnen een van die gebieden. Daarbij moet uitdrukkelijk worden gedacht aan onderzoek dat de grenzen tussen de fysica en de informatica slecht, maar evenzeer de grenzen tussen de analytische en constructieve aspecten van het ontwerpproces.

2.2 Economische doelstellingen

De economische doelstellingen zoals verwoord in de Nota "Kennis in Beweging" [4] zijn in de context van embedded systems in drie categorieën te verdelen:

- 1) Goedkoper ontwerpen en produceren van embedded systems.
- 2) Betere voorspelbaarheid van de ontwikkeling.
- 3) Hogere kwaliteit van de geproduceerde systemen.

In categorie (1) zou als concrete doelstelling bijvoorbeeld genomen kunnen worden het (binnen tien jaar) reduceren van de ontwerp- en productiekosten van een embedded system van een gegeven complexiteit tot een tiende van de huidige kosten.

In categorie (2) past de concrete doelstelling om voor het begin van een ontwikkeling van een nieuw systeem, binnen aanvaardbare grenzen (bijv. 5%), te kunnen voorspellen wat de doorlooptijd en kosten van die ontwikkeling zullen zijn.

Categorie (3) betreft eigenschappen van het product zelf en omvat doelstellingen omtrent aantal en soort van te tolereren fouten in een systeem, en beschikbaarheid en betrouwbaarheid van het systeem onder alle denkbare bedrijfsomstandigheden. Specifieke aan systemen te stellen eisen hangen in zekere mate af van het toepassingsdomein, hoewel fouten in, en ongewenst gedrag van een systeem in toenemende mate voor elk domein ongewenst zijn.

Het is met de huidige stand van de techniek niet mogelijk duidelijke verbeteringen in zelfs maar één van de genoemde categorieën te bereiken, laat staan in alle drie. Voor de concurrentiekracht van het bedrijfsleven zijn dergelijke verbeteringen echter essentieel.

Ten einde dergelijke ambitieuze doelstellingen te kunnen realiseren zal er technologie ontwikkeld en onderwezen moeten worden die de basis gaat vormen van toekomstige ontwikkelprocessen. Dit voorstel beoogt het onderzoek, noodzakelijk voor de ontwikkeling van die technologie te stimuleren.

2.3 De noodzaak van een vervolg op PROGRESS

Door het onderzoek dat gestart is in PROGRESS is het ontwerpen van embedded software en embedded systems beslist een stap verder gekomen, maar in sommige opzichten blijft het nog steeds achter bij het ontwerpen van andersoortige hard- en softwaresystemen. Om een peil te bereiken dat vergelijkbaar is met de traditionele disciplines als werktuigbouw en elektrotechniek, zal verder gezocht moeten worden naar algemene wetmatigheden, waarbinnen de hierboven genoemde aspecten een duidelijke plaats krijgen. Het blijft een gegeven dat dergelijk onderzoek alleen vruchtbaar zal zijn indien er een sterke wisselwerking bestaat tussen theorievorming en experiment. Uit PROGRESS valt af te leiden dat er dringende behoeftes bestaan aan betere methoden voor het ontwerpen van embedded systems en dat de tijd rijp is de problemen wetenschappelijk en systematisch aan te pakken. Hoewel er echter in de universitaire wereld een groeiende belangstelling voor embedded systems ontstaat, blijft de kloof met de toepassingen in de bedrijven nog groot. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het bedrijfsleven een relatief grote eigen inspanning levert. Bedrijfsleven en kennisinstellingen, daartoe gestimuleerd door PROGRESS, beginnen in toenemende mate elkaars problemen en mogelijkheden te ontdekken. Voortzetting van PROGRESS zal dit wederzijdse begrip en de daaruit voortvloeiende samenwerking versterken, mede door de leidende rol die de Embedded Systems Roadmap in de keuze van onderzoeksonderwerpen zal krijgen.

Voor een deel is de slechte aansluiting tussen de universitaire wereld en het bedrijfsleven te verklaren uit de complexiteit en het multidisciplinaire karakter van embedded systems, waarbij ook nog de noodzaak optreedt om bij het ontwerp te zoeken naar compromissen met, afhankelijk van de toepassingseisen, variërende weegfactoren. De hoge kosten van veel embedded systems maken het voor de wetenschappelijke instellingen moeilijk, zo niet onmogelijk, ervaring op te doen met de "echte" problemen die bij de constructie en het onderhoud van dit soort systemen naar voren komen.

Daarnaast bestaat ook voor embedded systems het probleem bij het onderzoek binnen de universitaire wereld dat de vraag en het aanbod in de tijd gezien moeilijk op elkaar aansluiten. De kennisinfrastructuur heeft vaak geen direct antwoord op de vraag vanuit het bedrijfsleven naar specifieke kennis op het gebied van embedded systems. Het bedrijfsleven slaagt er vaak ook niet in om geconstateerde lacunes op korte termijn te doen invullen door effectieve aansturing van onderzoek binnen de betreffende instellingen.

Overzichten van onderzoek bij de universiteiten geven aan dat er in ruime mate aandacht is voor relevant onderzoek. Dit is echter maar ten dele waar. Zo wordt in de Technologie Radar [3] gezegd dat de software gerelateerde research zich van oudsher met name richtte op mathematische technieken voor specificeren en dat Nederland op dit gebied een goede naam heeft opgebouwd. Software engineering als vakgebied met praktisch bruikbare resultaten is in Nederland echter onderontwikkeld, wordt er gesteld. Dit duidt er op dat het bij het genoemde onderzoek niet gaat om onderzoek waarvan de resultaten op korte termijn gebruikt kunnen worden door het bedrijfsleven. Sinds de publicatie van de Technologie Radar in 1998 heeft het software gerelateerde onderzoek in Nederland duidelijk een meer praktische oriëntatie gekregen. Interessant in deze context is de observatie dat het in de projecten die in de eerste fase van PROGRESS zijn gestart ondanks de genoemde beperkingen van het wetenschappelijk onderzoek mogelijk is gebleken bruggen te slaan tussen onderzoekers en toepassers. Er is te verwachten dat in een tweede fase van PROGRESS niet alleen bestaande bruggen verstevigd zullen worden, maar dat ook nieuwe relaties tot stand zullen komen. De sterke interactie tussen praktijk en theorie die hierdoor ontstaat zal vergaande gevolgen hebben voor software engineering in het algemeen; dit is toe te schrijven aan de bijzondere positie van embedded systems, waardoor meer dan bij

software engineering onderzoek pur-sang, samenwerking tussen theoretici en praktijk-gerichte specialisten noodzakelijk is.

Hoewel Nederland op dit moment internationaal behoorlijk mee kan doen op het gebied van embedded systems, moet niet worden vergeten dat ook internationaal veel aandacht wordt besteed aan onderzoek op dit gebied. Het is voor het behouden en versterken van de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven dan ook van eminent belang naast het verrichten van onderzoek op nationaal niveau, te participeren in internationaal onderzoek. PROGRESS kan voor een dergelijke participatie een uitstekende uitgangspositie leveren vanwege de binnen de context van het nationale programma gegroeide samenwerkingsverbanden tussen bedrijven onderling en met universiteiten en instituten. Het is dan ook te verwachten dat uitvoering van dit programma zal kunnen leiden tot een aanzienlijk hogere score in de competitie om Europese onderzoeksfondsen. Teneinde de internationale blik te verruimen wordt eraan gedacht om in het kader van de nieuwe fase van PROGRESS te denken aan de oprichting van een internationaal platform, bijvoorbeeld door oprichten van een Embedded Systems Chapter binnen de IEEE Benelux.

We herhalen hier de niet te onderschatten voordelen van een nationaal initiatief, zoals die al golden voor PROGRESS in 1998:

1. Door het instellen van een programmacommissie die alle beschikbare middelen voor (gesubsidieerd) onderzoek naar embedded systems beheert, zal enerzijds worden voorkomen dat nodeloze duplicatie optreedt van onderzoek, en anderzijds worden gestimuleerd dat onderzoeksinstellingen en bedrijfsleven in voldoende mate samenwerken om daadwerkelijk en geconcentreerd de vele interdisciplinaire problemen aanpakken.
2. De mogelijkheid om onderzoek te verrichten dat zowel aspecten van zuiver wetenschappelijk onderzoek als van toegepast onderzoek bevat. In de huidige structuren is het betrekkelijk moeilijk voor dergelijke projecten financiering te vinden. In de context van dit initiatief zal worden gewaarborgd, o.a. door de samenstelling van de programmacommissie en de stuurgroep, dat de verschillende deelnemende subsidieverlenende instanties zeggenschap behouden over die voorstellen (of gedeelten van onderzoeksvoorstellen) die passen binnen de voor hen geldende randvoorwaarden.
3. De mogelijkheid tot het uitvoeren van grote onderzoeksprojecten. Waar elk van de constituerende geldstromen te klein zal zijn voor onderzoek naar beheersing van complexiteit in grote systemen, zal de gezamenlijke stroom groot genoeg zijn voor het uitvoeren van grensverleggend onderzoek, waardoor de Nederlandse industrie ook op langere termijn concurrerend zal blijven met het buitenland.

De nieuwe fase van PROGRESS zal echter in verscheidene aspecten verschillen van haar voorgangster. Met name zal van een andere basisvraagstelling uitgegaan worden, m.n. zal het onderzoek in ruime mate vraag gestuurd zijn.

2.4 Programmasturing

In de eerste aanvraag/honoreringsronde van PROGRESS hadden de aanvragers de volle vrijheid om onderwerp en eindtermen van het ingediende onderzoeksvoorstel te bepalen, mits dit binnen het kader van het PROGRESS-programma viel. Deze openheid was nodig om de interesses, behoeften en mogelijke prioriteiten te kunnen vaststellen, en om de eventuele zwaartepunten en spreidingen in kaart te brengen. De tweede tender – die vrij vlug

na de eerste kwam – bracht geen verandering in deze openheid. Na deze twee tenders was duidelijk geworden dat er nagedacht moest worden over manieren om hiaten op te vangen, en ook onopgemerkte overlapping te vermijden. Besloten werd om te experimenteren met een *thematische* derde tender, waarbij het thema *networked embedded systems* gekozen werd op grond van het belang voor de toekomst en het min of meer ontbreken ervan in de twee eerste tenders. Aanvragen die niet binnen dit thematisch kader vielen, doch wel PROGRESS-relevant en kwalitatief goed waren, werden evenwel niet uitgesloten. Deze koerswijziging kreeg veel bijval, en daardoor kwam de vraag op bij het DB of PROGRESS niet aan weloverwogen programmasturing moest doen. De PC sloot zich aan bij dit idee, en wel om twee redenen:

- 1) Er zijn op het gebied van Embedded Systemen serieuze problemen waaraan nu gewerkt moet worden als Nederland, zowel op het vlak van onderzoek en ontwikkeling, als op de productmarkt een betekenisvolle rol wil spelen in Europa en in de wereldomspannende economie; en
- 2) De PROGRESS community moet zich vroeg of laat verankeren in de vorm van een Nederlands autonoom platform waarin industrie en onderzoeksinstituten gezamenlijk het onderzoek t.a.v. Embedded Systemen gericht inhoud en vorm kunnen geven.

Eind 2000 – na afstemming met EZ – ontwikkelde PROGRESS plannen die uiteindelijk resulteerden in de *Embedded Systems Roadmap 2002-Vision on technology for the future of PROGRESS* (maart 2002). Hoewel deze Roadmap (zie ook par. 3.4) nog beperkt en gekleurd is, is het een uiterst waardevol document waarin duidelijk is terug te vinden welke embedded systems technologie er nodig is om over een periode van 10 jaar sterk te staan en welke knelpunten er opgelost moeten worden willen de doelstellingen ook daadwerkelijk gehaald worden. Een samenvatting van de majeure uitdagingen en de werkelijke kansen die duidelijk boven zijn komen drijven is te vinden in de *Executive Summary* van die Roadmap (Appendix C):

- beheersing van complexiteit van heterogene, gedistribueerde (genetwerkte) embedded systemen, het integreren en op elkaar aansluiten van standaarden,
- integreren van diversiteiten van technologische en disciplinaire aard, iets wat zo kenmerkend is voor Embedded Systemen,
- systematische, effectieve en werkbare specificaties van Embedded Systemen,
- terugdringen van non-recurrent engineering kosten door platformgeoriënteerde te ontwerpen,
- terugdringen van ontwerpkosten (tijd en geld) door hiërarchisch te ontwerpen,
- terugdringen van constructiekosten door gestructureerde verificatie en validatie strategieën.

Aandachtspunten bij programmasturing in de nieuwe fase van PROGRESS.

Op basis van (een aantal van) de aanbevelingen uit de PROGRESS Zelfevaluatie, en met de Embedded Systems Roadmap in de hand moeten heldere doelstellingen geformuleerd worden plus een gedegen strategische programmasturing worden uitgestippeld om deze doelstellingen te realiseren. Sturing van het programma zal op verschillende manieren gebeuren, bijvoorbeeld

- aan de hand van *thema's* (zie derde tender PROGRESS), of
- aan de hand van *knelpunten* die prominent en urgent om aandacht vragen, of
- door bevordering van samenwerking tussen de onderzoekers om moeilijkere en/of grotere problemen samen aan te pakken, of

- door exponenten van onderzoek te selecteren (“strawmen”) en/of prototypes te suggereren, of
- door stimulering van tijdelijke stationering van medewerkers uit de industrie en onderzoeksinstituten in elkaars omgeving en door terugkoppeling naar en van met name het MKB.

Deze strategieën sluiten evenwel niet uit dat originele en anderszins zinvolle aanvragen die niet direct in de sturingsstroom ondergebracht kunnen worden in aanmerking komen voor honorering. Het dient evenwel scherp gesteld dat tenders en aanvragen helderder zullen moeten zijn dan in het lopende PROGRESS-programma het geval was en dat het beargumenteren van het waarom van de aanvraag (*gegeven het feit dat er een Roadmap ligt*) zeer solide zal moeten zijn.

3 Het lopende PROGRESS-programma⁴

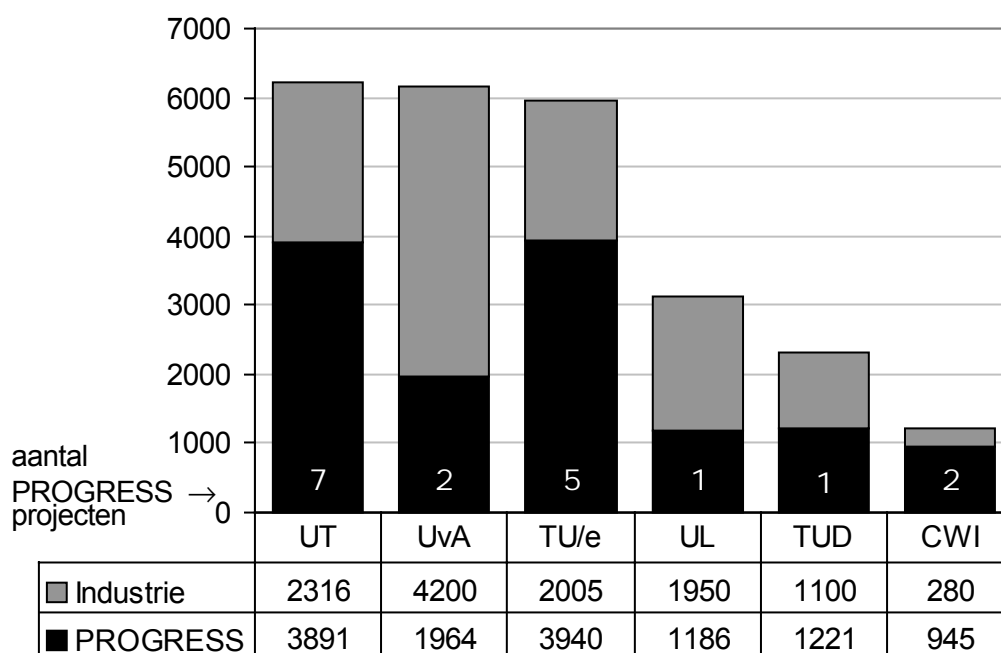
3.1 Projecten

Tweeëneenhalf jaar na de officiële start van het onderzoeksprogramma zijn er achttien projecten gehonoreerd. In totaal is het onderzoeksveld versterkt met 35 wetenschappelijke onderzoekers, waaronder acht postdocs. Bij het merendeel van de projecten gaat het om promotieonderzoek met een looptijd van vier jaar. Een enkel project duurt twee jaar.

Tabel 2 toont waar de subsidiegelden terecht zijn gekomen en hoeveel er wordt bijgedragen door anderen. Als er meerdere universiteiten participeren, is uitgegaan van de aanvrager. Afbeelding 1 geeft dezelfde gegevens grafisch weer.

Instituut	Aantal Projecten	subsidie K€	Industrie K€
UvA Amsterdam	2	891	906
CWI Amsterdam	2	429	127
TUD Delft	1	544	500
TU/e Eindhoven	5	1788	910
UL Leiden	1	538	885
UT Enschede	7	1766	1051
Totaal →	18	5956	4379

tabel 2: PROGRESS projecten aan de Nederlandse universiteiten



⁴ De tekst van dit hoofdstuk is afkomstig uit de PROGRESS Zelfevaluatie van september 2002.

figuur 1: Omvang PROGRESS onderzoek (In Kfl). In deze budgetten is opgenomen het gedeelte van het onderzoek dat aan medeaanvragende instellingen wordt uitgevoerd. Zo participeren de KUN en de VU actief in twee, respectievelijk één project(en).

Alle projecten uit de eerste twee tenders zijn intussen ook echt van start gegaan. Alhoewel het vinden van geschikte kandidaten niet altijd even eenvoudig was, zijn (bijna) alle vacatures ingevuld. Opvallend is wel dat slechts 20% van de onderzoekers de Nederlandse nationaliteit bezitten.

Reeds twee jaar na de start van het programma PROGRESS zijn reeds alle financiële middelen gecommiteerd. Dit is in tegenstelling tot wat oorspronkelijk in de programma-beschrijving stond, waar nog uitgegaan werd van vier jaar. De kwaliteit van de ingediende voorstellen was echter van dien aard, dat de programmacommissie (en de stuurgroep) het niet verantwoord achtten om het aantal honoreringen zover terug te brengen, dat het budget volgens de oorspronkelijke planning besteed zou kunnen worden.

Hieronder volgt een (korte) opsomming van de nu lopende PROGRESS projecten. Voor meer informatie verwijzen we naar de PROGRESS website, www.stw.nl/progress/onderzoek, waar behalve korte projectbeschrijvingen ook links zijn opgenomen naar de websites van individuele projecten.

Projecten gehonoreerd in de 1e tender

TES.4999 HaaST: Verification of Hard and Softly Timed Systems
TES.5004 CHAMELEON: Reconfigurable computing in hand-held multimedia computers
CES.5008 Improving the quality of embedded systems using formal design techniques
CES.5009 Real-time Distributed Shared Data Space
AES.5021 ARTEMIS: ARchitectures and meThods for Embedded Media Systems
LES.5028 MASSIVE: Scalable Hierarchical Embedded Signal Processing Systems

Projecten gehonoreerd in de 2e tender

EES.5141 Specification tooling for embedded software components
EES.5173 Analysis and synthesis of embedded systems with discrete and continuous control
TES.5177 Development of a software-radio-based embedded mobile terminal
EES.5202 Modeling and performance analysis of telecommunication systems
TES.5224 Development of a design framework for heterogeneous real time embedded systems
TES.5226 HIGH₂: High-level synthesis tools for high-throughput DSP applications

Projecten gehonoreerd in de 3e tender

TES.5410 Development of compositional programming techniques for networked heterogeneous embedded systems
DES.5411 SmartCam: Devices for embedded intelligent cameras
EES.5413 Internet based monitoring and control of embedded systems
AES.5414 A structure for maintaining a shared world model in a dynamical environment between differentiated embedded systems and their interaction with human supervisors
TES.5417 ATOMYSTE: ATOm splitting in eMbedded sYStems Testing
EES.5653 Quality of service of in-home digital networks

3.2 Gebruikers

Om te bevorderen dat de kennis uit het onderzoek ook daadwerkelijk en effectief aan gebruikers wordt overgedragen, stelt PROGRESS per onderzoeksproject een gebruikerscommissie in. Niet alleen de meebetallende partners⁵ participeren in het onderzoek, ook andere partijen zijn welkom bij de gebruikerscommissies. Dankzij de goede afspraken die vooraf gemaakt zijn tussen universiteiten en de bedrijven stoot dit niet op problemen waar het om de kennishandel gaat.

3.3 Tenders

1e tender, 1999

De eerste tender voor onderzoeksvoorstellen resulteerde in 40 vooraanmeldingen, waarvan er 27 geaccepteerd werden door de programmacommissie. Dit resulteerde uiteindelijk in 17 uitgewerkte projectvoorstellen die door het bureau werden afgehandeld. De projectvoorstellen en protocollen werden daarna aan de programmacommissieleden voorgelegd, die zonder onderling overleg, voor elk project twee cijfers gaven, één voor de wetenschappelijke kwaliteit en één voor de kans op toepassing. De hieruit resulterende prioriteitsvolgorde diende als basis voor een discussie over de ingediende projectvoorstellen in deze 1^e tender. Deze discussie concentreerde zich hoofdzakelijk op de projecten in het zogenoemde middengebied, over de beste en de slechtste voorstellen was iedereen het eens. De discussie resulteerde uiteindelijk in een voorstel aan de Stuurgroep om de beste zes projecten te honoreren. De Stuurgroep besloot, na een uitgebreide discussie over de gevolgde procedure, dit voorstel over te nemen en feliciteerde de programmacommissie met de tot nu toe behaalde resultaten.

Met de honorering van de eerste zes PROGRESS projecten is een bedrag van 11 miljoen gulden gemoed, 7 miljoen daarvan wordt bijgedragen door de industriële partners.

2e tender, 1999-2000

Eind 1999 werd de tweede oproep voor het indienen van voorstellen verstuurd. Dit resulteerde in 20 vooraanmeldingen, waarvan er uiteindelijk 14 werden geaccepteerd door de programmacommissie (PC). Deze werden alle uitgewerkt. Bij deze projecten bevonden zich ook een paar herindieningen van voorstellen uit de eerste ronde, aangepast op basis van de eerdere commentaren.

Na de gebruikelijke eerste beoordeling door externe experts en het weerwoord van de indieners, zijn - in een onafhankelijke, eerste ronde - alle projecten door de PC beoordeeld en is een eerste prioriteitsvolgorde vastgesteld. Bij de daarop volgende PC vergadering werd deze volgorde grotendeels gehandhaafd.

Bij één project werden in de vergadering de cijfers (naar beneden) bijgesteld, zodat dit onder de honoreringsgrens viel. De stuurgroep besloot echter het project alsnog goed te keuren.

Één van de andere ingediende projecten bleek uiteindelijk toch niet binnen de doelstellingen van PROGRESS te passen. Ondanks het feit dat de programmacommissie unaniem van mening was dat het project kwalitatief (zowel wetenschappelijke kwaliteit als qua utilisatie) als beste scoorde, is door de PC toch besloten om het project niet uit PROGRESS middelen te financieren. Het project is voorgelegd aan STW met het advies ter honorering. Het STW

⁵ **partners** zijn industrieën die daadwerkelijk (financieel) bijdragen aan het onderzoek, **gebruikers** nemen kennis van de resultaten, mogen die kennis echter niet direct voor commerciële doeleinden inzetten. Daar moeten dan eerst afspraken over worden gemaakt.

bestuur heeft dit advies gevolgd. (NB: Een controle achteraf, waarbij het betreffende project nogmaals werd voorgelegd aan een STW lekenjury bevestigde het oordeel van de PROGRESS PC. Het project scoorde met bijna dezelfde cijfers en eindigde eveneens op de eerste plaats)

De gevolgde beoordelingswijze was aanleiding voor een discussie tussen programma-commissie en stuurgroep, waar de gevolgde procedure uitvoerig werd besproken en enkele wijzigingen werden aangebracht (zie ook 3.4).

3e tender, 2000-2001

Voor de 3e tender werd de nadruk gelegd op *'Networked Embedded Systems'*. Als gevolg van deze keuze was het aantal vooraanmeldingen minder groot dan bij de eerste twee tenders, 'slechts' 19 ideeën voor onderzoek werden geaccepteerd. De beoordeling van deze projecten (zoals beschreven in 3.4) begon in 2000. Na een vrij lange behandelingsperiode heeft de PC in maart 2001 vijf van de uiteindelijk 14 overgebleven projectvoorstellen gehonoreerd. Een van de niet-gehonoreerde projecten scoorde weliswaar bijna net zo goed als de gehonoreerde projecten, maar het beschikbare budget was uitgeput. Zowel de PC als de stuurgroep waren echter van mening dat de kwaliteit van het voorstel zo goed was, dat het jammer zou zijn om het af te wijzen. Het project is daarop voorgelegd aan het STW bestuur. Dit besloot daarop het budget van PROGRESS zodanig te verhogen dat het project alsnog gehonoreerd kon worden.

3.4 Embedded Systems Roadmap

In de afgelopen periode is op initiatief van de programmacommissie de PROGRESS Embedded Systems Roadmap samengesteld. Dit document geeft visies op de ontwikkeling van de embedded systemen technologie op een termijn van tien jaar. De Roadmap zal een leidraad vormen voor de nieuwe fase van PROGRESS, maar kan ook voor anderen werkzaam op het gebied van embedded systemen dienen als een analyse van de mogelijke toekomst en een leidraad voor toekomstig onderzoek. Door de uitgevoerde gap analyse is nu duidelijk welke specifieke gebieden nader onderzoek nodig hebben.

Roadmapping begint een steeds populairder instrument te worden om beslissingen te ondersteunen, niet alleen als het gaat om het maken van strategische keuzes binnen het bedrijfsleven, maar ook voor het bepalen van de richting van het (industriële en academische) onderzoek. De SIA⁶ roadmap is al jaren een begrip in de wereld van de halfgeleiderindustrie. Ook in het kader van de Europese onderzoeksprogramma's MEDEA⁷ en ITEA⁸ wordt aan roadmaps gewerkt.

Mede door het succes van de ITEA roadmap is, in overleg tussen de PC en de stuurgroep, besloten specifiek voor Embedded Systems een roadmap te construeren.

Het bureau Eggermont Consultancy, dat ook bij de totstandkoming van de MEDEA en EDA⁹ roadmaps betrokken was, is daarop benaderd om dit proces te begeleiden. Dankzij de grote inzet van Eggermont en de betrokken specialisten in het veld, gezeten in het zgn. Core-team, zijn de werkzaamheden in een jaar afgerond.

⁶ SIA = Semiconductor Industry of America

⁷ MEDEA = Micro-Electronics Development for European Applications

⁸ ITEA = Information Technology for European Advances

⁹ EDA = Electronic Design Automation

In de roadmap worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Reuse

Promote/develop/facilitate the reuse of IP blocks on a broad scale, as an important enabler to increase design productivity. The publicly available certified IP blocks should contain models, which can be used to simulate, verify, debug, and test the embedded system including the IP blocks on different levels of abstraction. IP blocks are to be easily integrated in the embedded system by means of standardized interfaces. Note that IP blocks may comprise hardware and software.

Compilers and translators

There is a need for at least two kinds of compilers. The first kind is retargetable towards various hardware designs in order to deliver code efficiently executing on these designs. The second kind of compilers derives the hardware architecture from the behavioral specification based on several cost functions and simultaneously generates the executable for this hardware.

Specification

An urgent need exists for methods and tools that capture ideas in models in analogy to the virtual reality modeling as has become accepted in other areas such as the automobile industry. A knowledge base of re-usable parts and metrically quantified design experience must be developed to aid the designer in balancing constraints to obtain the final specification. Methods for closing the gap between requirements and specification are lacking.

DSE

Design-Space Exploration: To develop methods and tools to evaluate design decisions concerning the allocation of computation & communication (tasks) to resources with the purpose of obtaining high-quality solutions. This evaluation can be performed by co-simulation of executable models of heterogeneous building blocks at the appropriate abstraction levels.

Verification & validation

Apart from correctness-by-construction, formal verification and validation are the only ways to solve the ever-growing simulation burden to verify the correctness of design steps.

Although formal verification and validation are not feasible for all designs, they can be applied successfully in many cases. For this purpose it is necessary to educate the designers early in these techniques and to design more user-friendly verification tools by separating the verification and validation functionality from the underlying mathematics.

Test

The large diversity of hardware and software that comes together in an embedded system in various shapes and quantities needs to be addressed from a single unified view on testing. The testing problem will further be aggravated by the increasing role of redundancy and heterogeneous and polymorphic parts. Increasingly we will need on-chip measures and dedicated test functions to allow for an acceptable fault diagnosis, isolation and repair over the life cycle of the product.”

De roadmap zal een belangrijke rol gaan vervullen bij de nodig geachte focussing in de nieuwe fase van PROGRESS (zie ook 4.3).

De Embedded Systems RoadMap is toegevoegd als Appendix C bij dit voorstel.

4 Het programma en de werkwijze

4.1 Inleiding

Het voorgestelde programma beoogt een oplossing te geven voor een aanzienlijk deel van de problemen waarmee de constructeurs van embedded systems kampen. Hiertoe is het noodzakelijk dat er een bundeling plaatsvindt van het noodzakelijke onderzoek - zowel voor kennis van embedded systems, als voor kennis van relevante aspecten van de informatica en aanverwante vakgebieden. Een dergelijke bundeling kan alleen worden bewerkstelligd door een effectieve samenwerking tussen de industrie enerzijds en de universiteiten en daarvoor in aanmerking komende (grote technologische) instituten (zoals bijv. het NLR) anderzijds.

Naast een dergelijke samenwerking is het van belang dat het onderzoek gefocuseerd blijft op de problemen van het ontwerp van embedded systems. Een sterke sturing van het onderzoek is derhalve onontbeerlijk, en door de aard van het beoogde toepassingsgebied is het noodzakelijk dat het bedrijfsleven in deze sturing een zeer belangrijke stem heeft. De procedures rond het initiëren en uitvoeren van onderzoeksprojecten binnen dit programma zijn ontworpen met het oog op deze sturing. Elders in deze aanvraag wordt hier specifiek op ingegaan.

Hoewel embedded systems niet als abstracte entiteiten kunnen worden gezien, en derhalve een groot deel van het onderzoek zal moeten plaatsvinden in de context van een specifieke toepassing, ligt het uitdrukkelijk in de bedoeling technologieën te ontwikkelen die voor een zo groot mogelijke klasse van embedded systems kunnen worden ingezet. De moeilijke afweging tussen enerzijds te zeer specifiek op een bepaalde toepassing gericht onderzoek, en anderzijds te generiek en daardoor nauwelijks toepasbaar onderzoek, zal zowel bij het beoordelen van ingediende voorstellen als bij de bewaking van de projectvoortgang dienen te worden gemaakt.

Gezien de aard van de problemen die dienen te worden aangepakt binnen dit programma is te verwachten dat projecten in lengte en karakter zullen variëren van theoretische met een duur van ca. 4 jaar, tot experimentele met een duur van minder dan twee jaar. Teneinde verschillende projecten in cascade te kunnen laten verlopen, waarbij de latere projecten voortbouwen op resultaten uit eerdere projecten, wordt voorgesteld het programma een looptijd van 6 jaar te geven.

Het programma is onderverdeeld in drie hoofdrichtingen van onderzoek, hierna aan te duiden als programmalijnen. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling dat een project zich uitsluitend richt op problemen uit slechts één van de drie programmalijnen. Juist in het vakgebied van de embedded systems is het noodzakelijk afhankelijkheden tussen de drie hoofdlijnen te onderkennen en projecten te definiëren die over de traditionele grenzen heen kijken. Desondanks geeft dit voorstel een beschrijving van het programma in termen van de drie programmalijnen, teneinde aan te sluiten bij de gangbare onderverdelingen in het wetenschappelijk onderzoek.

Natuurlijk is er veel geleerd van het lopende PROGRESS-programma. De belangrijkste ervaringen en mogelijke verbeteringen staan vermeld in de PROGRESS Zelfevaluatie d.d. september 2002 [12]. Voor zover deze feiten betrekking hebben op de nieuwe fase van PROGRESS zijn ze in deze aanvraag vermeld.

4.2 Programmalijnen

PROGRESS kent de volgende programmalijnen:

- Theorievorming,
- Methodieken en gereedschappen,
- Realisaties en prototypes (ook wel 'ontwerp en testen' genoemd).

Theorievorming

Hoewel embedded systems voornamelijk in de sfeer van het ontwerp een probleem vormen, zijn er toch zoveel fundamentele vraagstukken dat een programmalijn speciaal voor de ontwikkeling van theorie gerechtvaardigd is. Binnen deze programmalijn zullen onderzoeksprojecten gefinancierd kunnen worden die zich richten op generieke problemen van embedded systems, waarbij de randvoorwaarden voor dergelijke systemen het karakteristieke verschil vormen met algemeen theoretisch onderzoek in de informatica, en verwante disciplines. Merk op dat de meeste onderwerpen die onder deze programmalijn zullen kunnen vallen een tegenhanger hebben in de andere twee programmalijnen: ontwikkelde theorie moet toepasbaar worden gemaakt en dat kan alleen door de theorie hetzij te vertalen naar een methodiek van ontwerpen, hetzij gereedschappen en/of standaardcomponenten te ontwikkelen die op die theorie gebaseerd zijn.

Typische problemen waaraan in dit verband gedacht zou kunnen worden zijn:

Specificatie

Zoals voor elke ontwerpactiviteit een goede specificatie een voorwaarde voor succes is, geldt ook voor embedded systems dat een eenduidige en volledige specificatie noodzakelijk is. De vele aspecten die in een embedded systeem een rol spelen, zoals aangegeven in hoofdstuk 1, maken dat de huidige state-of-the-art in specificatietechnieken ontoereikend is voor de specificatie van zelfs relatief eenvoudige embedded systems. De specificatie van een embedded system vormt in het algemeen een onderdeel van de specificatie van het embedding system waar het deel van uitmaakt, met componenten die gespecificeerd zijn door elektrotechnici, werktuigbouwkundigen, chemisch technologen, enz. De onderlinge relaties tussen de deelspecificaties worden vaak slecht begrepen, terwijl dit toch veelal essentieel is voor het goed functioneren van het totale systeem. Een ander aspect waarin bestaande specificaties tekortschieten is dat het er bij de ontwikkeling van specificatietechnieken niet alleen om gaat alle aspecten van embedded systemen te kunnen beschrijven, maar ook om het implementatieproces te sturen en te begeleiden. Dit methodische aspect is niet strikt te scheiden van het theorievormingsaspect en wordt daarom niet apart in de bewuste programmalijn genoemd. Verwacht mag worden dat er zich gedurende de looptijd van het programma een zekere verschuiving zal voordoen van meer theoretisch gericht onderzoek, naar een meer methodische oriëntatie.

Complexiteitstheorie

Aan embedded systems worden beperkingen opgelegd wat het gebruik van resources betreft. Bij het ontwerpen van kosteneffectieve embedded systems treden vaak scheduling- en optimaliseringsproblemen op die van combinatorische aard zijn. Alhoewel er binnen het vakgebied van de combinatorische optimalisering veel kennis bestaat met betrekking tot het oplossen van dit soort problemen, schiet deze theorie toch vaak te kort, zowel vanwege de omvang van de problemen, als door de veelsoortige constraints waar rekening mee gehouden dient te worden.

Systeem en software architectuur

De essentie van architectuur is dat er een uniform, voor een hele familie van systemen geldend, raamwerk wordt gedefinieerd waarbinnen de functionele componenten van de te ontwikkelen individuele systemen dienen te passen. De consequenties van de keuze van een architectuur voor een systeem zijn verstrekkend:

- De bruikbaarheid van bestaande componenten wordt voor een belangrijk deel bepaald door de architectuur (immers, een component kan slechts dan in een systeem functioneren als aan de voor een goede werking van die component te stellen randvoorwaarden is voldaan; het zijn juist die randvoorwaarden die door een architectuur bepaald worden). De relatie tussen gebruik van bestaande componenten en de economische doelstellingen is duidelijk: het reduceert (onder voorwaarden) de ontwikkelkosten, het vergroot de voorspelbaarheid van de ontwikkeling en reduceert de kans op fouten, mits de allocatie van systeemeisen aan componenten duidelijk is (denk aan Ariane-5).
- “Emergent properties” (niet-functionele eigenschappen zoals “dependability” en uitbreidbaarheid) van een systeem kunnen voor een belangrijk deel toegewezen worden aan de architectuur. Dit heeft het grote voordeel dat elk ontwerp dat met die architectuur gerealiseerd wordt die eigenschappen automatisch bezit (mits het ontwerp zich heeft geconformeerd aan de door de architectuur opgelegde regels).

Real-time scheduling

Dit is een onderwerp waar al zeer veel onderzoek is gedaan. Helaas wordt in vrijwel alle onderzoek uitgegaan van niet-realistische aannames over de omstandigheden waarin een systeem moet kunnen opereren (dit geldt in het bijzonder voor grote gedistribueerde systemen). Het gevolg is dat het gedrag van systemen in niet verwachte maar overigens toelaatbare bedrijfsomstandigheden vaak niet alleen niet wordt begrepen, maar, belangrijker, niet adequaat is voor die omstandigheden. In combinatie met eisen van beschikbaarheid (graceful degradation, foutentolerantie, on-line maintenance) en uitbreidbaarheid van systemen zijn de huidige scheduling theorieën volstrekt ontoereikend. In dergelijke gevallen zal een afweging moeten worden gemaakt tussen kwaliteit van een oplossing en de tijdigheid ervan. Dit leidt tot een geheel ander resource allocatie gedrag dan met de huidige technologie mogelijk is. Scheduling binnen een gedistribueerd systeem heeft een sterke relatie met de architectuur van zo'n systeem.

Systeembeschikbaarheid

Onder deze noemer vallen alle voorzieningen die er toe bijdragen dat de kans dat een systeem, als gevolg van niet-voorzienende omstandigheden, uitvalt zo klein mogelijk is. Hierbij moet worden gedacht aan hardwarefouten, zoals uitval van processoren en/of communicatiemiddelen, softwarefouten hetzij residueel door ontoereikende verificatietechnieken, hetzij geïntroduceerd door systeemmodificaties (inclusief het vervangen van componenten door nieuwe versies), onbedoelde gebruikersacties en overbelastingssituaties. Problemen die aandacht vergen zijn proces replicatie met actieve of passieve processen, data replicatie en de daarmee samenhangende risico's van inconsistenties binnen een systeem, en autonomie van processen. Daarnaast is het noodzakelijk methoden te ontwerpen voor het tijdig en betrouwbaar kunnen detecteren van problemen in een operationeel systeem. Ook dit onderzoeksgebied heeft een sterke afhankelijkheid van architectuur.

Methodieken en gereedschappen

Praktische richtlijnen voor, en daadwerkelijke ondersteuning tijdens het ontwerp van embedded systems kan wellicht de grootste bijdrage leveren aan de doelstelling de kosten van het ontwerpen van deze systemen drastisch te verlagen. De doorgaans voor algemene toepassing gedachte ontwerpgereedschappen van de huidige generatie hebben onvoldoende faciliteiten om de specifieke problemen van het ontwerpen van embedded systems doeltreffend te ondersteunen. In deze lijn van het programma wordt dan ook aandacht gevraagd voor methoden die wel toegesneden zijn op de typische problemen van embedded systems, zoals in het bijzonder de combinatie van prestatie-eisen en randvoorwaarden waar aan moet worden voldaan.

Typische problemen in deze programmalijn zijn:

Design Space Exploration

Het in kaart brengen en verkennen van de ontwerpruimte is bij Embedded Systems een centraal en moeilijk probleem, omdat hierbij alle te onderscheiden kenmerken van zo'n systeem ingebracht moeten worden om ze tegenover elkaar te afwegen. Waar het bij VLSI hardware ontwerp in eerste instantie gaat om een tijd / ruimte afweging (eventueel aangevuld met vermogensconsideransen) en bij software ontwerp hoofdzakelijk om een afweging nauwkeurigheid versus complexiteit, gaat het bij embedded systeem ontwerp over een afweging van typische systeemkenmerken zoals architectuurkeuze (connectiepatroon, aantal bussen, parallelisme, programmeermodel), systeemgedrag (b.v. keuze van protocol of adaptiviteit), verdeling tussen software en hardware en fysische kenmerken (omvang, timing, tolerantie). Ieder van deze aspecten behoeft modellering en inbreng in een ontwerpomgeving waarin ze op een relevante wijze gemodelleerd en tegenover elkaar afgewogen kunnen worden.

Ook de exploratie van de applicatieruimte (inclusief de specificatie) speelt een belangrijke rol.

Ontwerpmethodiek

Er bestaan voor algemeen systeemontwerp een aantal min of meer bruikbare en effectieve methoden. Voor de specifieke problemen van het ontwerpen van embedded systems zijn daarentegen maar zeer weinig methoden die voldoende rekening houden met de vele, vaak conflicterende, randvoorwaarden die aan deze systemen worden gesteld (dependability, quality of service, weight, cost, etc.). In het kader van dit programma zouden door het bij elkaar brengen van ervaringskennis uit de industrie en fundamenteel inzicht in complexe ontwerpprocessen uit de academische wereld nieuwe methoden kunnen worden ontwikkeld die, mede door het toenemende belang van embedded systems, een belangrijke bijdrage zouden leveren aan de concurrentiekracht van het bedrijfsleven.

Componententechnologie

Een van de meest effectieve methoden om de kosten van het ontwerpen van nieuwe systemen binnen de perken te houden is het gebruiken van bestaande componenten, zowel binnen families van systemen als voor geheel nieuwe ontwikkelingen. Dit geldt evenzeer voor hardware als voor softwarecomponenten. De praktijk van vandaag is dat de hardwareontwerper wel, maar de software ontwerper slechts in zeer beperkte mate gebruik maakt van bestaande componenten. Dit verschil vindt zijn oorzaak voor een belangrijk deel in de (betrekkelijk) lage kosten van het ontwerpen van een nieuwe

component, waarbij een hardware component niet slechts ontworpen, maar ook nog geproduceerd dient te worden. Als gevolg van het gemak waarmee software componenten gemodificeerd kunnen worden (voor ogenschijnlijk lage kosten) is er in het verleden weinig aandacht geweest voor het zodanig ontwerpen van componenten enerzijds en systemen anderzijds dat bestaande software componenten in één systeem kunnen worden opgenomen. Merk op dat er een sterke relatie bestaat tussen de bruikbaarheid van componenten en de architectuur van een systeem.

Hardware / software co-design

Voor embedded systems waar vanwege de gestelde eisen optimaal gebruik moet worden gemaakt van de mogelijkheden van de beschikbare hardware (bijv. door zeer hoge prestatie-eisen, of door kostenoverwegingen), is het noodzakelijk de te ontwikkelen software goed af te stemmen op de eigenschappen en mogelijkheden van de hardware van het te ontwerpen embedded system. In het algemeen betekent dit dat er een wisselwerking nodig is tussen hardware- en software-ontwerp. Dit zgn. co-design van hard- en software wordt met de huidige generatie ontwerp hulpmiddelen onvoldoende ondersteund.

Complexiteitsbeheersing

Voor het kunnen vaststellen wat de ontwerpinspanning voor een nieuw te ontwerpen systeem zal zijn is het noodzakelijk een metriek en een bijbehorende methodiek te ontwikkelen waarmee voor een samenhangend stel eisen kan worden uitgedrukt wat de complexiteit van dat systeem is. Vanzelfsprekend dienen de eisen alle aspecten van het systeem in hun onderlinge samenhang te beschrijven. Daarnaast moet er worden gestreefd naar een ontwerpmethodiek die het mogelijk maakt voor elke (majeure) ontwerpbeslissing vast te stellen in hoeverre die beslissing een stap in de goede richting betekent (bijv. doordat de complexiteit van het resterende ontwerp afneemt) en wat de er uit volgende bewijsverplichtingen zijn. Het moge duidelijk zijn dat de keuze van een architectuur een van de eerste (zo niet de allereerste) en belangrijkste ontwerpbeslissingen is.

Verificatie

Voor embedded systems geldt sterker nog dan voor algemene IT systemen de eis van de correcte werking van het systeem. Door de aard van deze systemen (sterke interactie met de omgeving, tijdsafhankelijk gedrag, speciale interfaces, enz.) is het daarentegen nog moeilijker de correcte werking aan te tonen. Er is dan ook dringend behoefte aan enerzijds fundamenteel onderzoek naar de eigenschappen van embedded systems en de daaruit af te leiden bewijsverplichtingen, en anderzijds een met de ontwikkeling geïntegreerde methodiek van verificatie.

Realisaties en prototypes

Theorie en methodiek van ontwikkelen zijn noodzakelijke, maar nog niet voldoende voorwaarden voor het verantwoord ontwerpen en realiseren van embedded systems. Het is evenzeer nodig krachtige, en veelal op het toepassingsdomein gerichte, verzameling gereedschappen te ontwikkelen die de theorie en de te hanteren ontwerpmethodiek ondersteunen en om de waarde aan te tonen op niet triviale problemen. De bedoeling van deze programmalijn is derhalve het ontwikkelen en in de praktijk bewijzen van technische hulpmiddelen, die generiek van aard zijn en dus niet alleen bruikbaar voor het ontwikkelen van zeer specifieke toepassingen. Deze

doelstelling is niet alleen aantrekkelijk voor de ontwerpers van embedded systems, maar kan bovendien leiden tot op zichzelf verkoopbare producten.

Realisatieplatform

Een belangrijk deel van de ontwerpinspanning voor een embedded system bestaat uit de infrastructurele voorzieningen die gezamenlijk de architectuurconcepten waar een ontwerp op is gebaseerd implementeren. Zo'n infrastructuur bestaat uit een aantal (configureerbare) standaardcomponenten die het raamwerk vormen waarbinnen de applicatiemodulen kunnen opereren. Aangezien i.h.a. het ontwerp van een dergelijke infrastructuur een aanzienlijke inspanning vertegenwoordigt, maar doorgaans in een familie van systemen (en zelfs daarbuiten) herhaaldelijk kan worden gebruikt, is het economisch en voor het verhogen van de kwaliteit aantrekkelijk voor een architectuurconcept een concrete realisatie te maken.

Compilers

Een geschikte uitdrukkingmogelijkheid voor het ontwerp van een embedded system, waarbij met name de niet-functionele aspecten een belangrijk onderwerp vormen, is de basis voor vrijwel alle activiteiten rond de realisatie. In het bijzonder geldt dat voor de generatie van een implementatie, waarvoor een voor het gebruikte formalisme en de gedachte architectuur specifieke vertaler noodzakelijk is.

Simulatie

Voorlopig zal het niet mogelijk zijn alle vragen over prestaties van embedded systems en hun gedrag onder bijzondere omstandigheden te beantwoorden door te redeneren over eigenschappen van deeloplossingen en de coördinatie ertussen. Simulatie van specifieke aspecten van een architectuur en van bepaalde algoritmes zal zeker de komende tijd een noodzakelijke aanvulling blijven op de toenemende mogelijkheden formeel te redeneren over systeemeigenschappen. Te denken valt bijvoorbeeld aan performance modeling t.b.v. hardware/software co-design.

Verificatie

Verificatiegereedschappen omvatten de klasse van zgn. Model checkers, die alle toestanden van een systeem nalopen op gewenste eigenschappen. De laatste jaren is er veel vooruitgang geboekt met het beperken van het aantal toestanden dat bezocht dient te worden en met de uitbreiding met andere aspecten zoals bijvoorbeeld tijd. Verder dienen in deze categorie de theorem provers en theory checkers genoemd te worden, die ook al in enkele industrieel relevante voorbeelden gebruikt zijn.

Prototypes

Voorlopig is de enige betrouwbare methode om vast te stellen of theorieën en ontwerpmethoden daadwerkelijk een bijdrage leveren aan de gestelde doelen, het uitvoeren van niet-triviale experimenten. Niet triviaal zowel in de zin van de afmeting van het uit te voeren experiment, als in de zin van de aan het te ontwikkelen prototype te stellen eisen. Het is met name in deze experimentele toetsing van nieuwe ideeën en inzichten, dat samenwerking door industrie, universiteiten en instituten de grootste bijdrage levert in het wederzijds uitwisselen van kennis en inzicht. Voor de volledigheid zij hier nogmaals genoemd, dat het in dit programma gaat om het ontwikkelen van technologie met een zo groot mogelijke genericiteit, en niet om productontwikkeling. De toepassingen waar aan gewerkt zal worden, dienen ter toetsing, verfijning en verificatie van de ontwikkelde technologie.

Een speciaal woord dient hier te worden besteed aan de kwaliteit van te ontwikkelen software. Het is algemeen aanvaard dat 'academische' software niet voldoet aan bedrijfsvoorwaarden zoals foutvrijheid, robuustheid, etc. Indien grotere kwaliteit nodig is, kan dat binnen PROGRESS op twee manieren worden aangepakt: a) door binnen de onderzoeksgroep(en) een minimale software-engineeringspraktijk toe te passen, en b) door in die projecten software engineers als medeaanvragers te betrekken (natuurlijk via de industriële partners). Het dient natuurlijk te worden opgemerkt dat dit de precompetitiviteit van het onderzoek nooit geweld mag aandoen.

4.3 Focusering en zwaartepuntvorming

Naast de belangrijke focusering op problemen rond het ontwerpen van embedded systems, is er een tweede dimensie waar beperking van de aandacht noodzakelijk is om de schaarse onderzoekscapaciteit effectief in te kunnen zetten voor de meest urgente problemen. Embedded systems zijn er in vele soorten en maten, variërend van betrekkelijk eenvoudige microcontrollers tot zeer ingewikkelde netwerken van gekoppelde (op zich ook niet triviale) deelsystemen. Duidelijk waarneembaar is de trend naar enerzijds steeds kleinere, semi-autonome systemen en anderzijds de inbedding van traditioneel zelfstandig werkende systemen in een netwerk. Beide ontwikkelingen stellen de ontwerpers voor nieuwe uitdagingen, bovenop de al eerder genoemde uitdagingen die het ontwerp van embedded systems op zich al telt.

Binnen het geschetste kader, reikend van theoretisch onderzoek tot praktische toepassing, zal het PROGRESS programma voor de komende jaren voorkeur geven aan projecten die zich richten op het oplossen van problemen die geassocieerd kunnen worden met bovengenoemde trends. Hierbij kan bijv. gedacht worden aan:

- efficiëntie van implementatie.
Dit heeft een directe relatie met de autonomie en verplaatsbaarheid c.q. draagbaarheid van systemen (denk bijv. aan telefoons, mobiele bewakingsapparatuur voor mensen met een gezondheidsprobleem, of een toekomstig drempelvrij openbaar vervoer). Het gaat hierbij zowel om de fysieke omvang van de voor executie van de embedded software vereiste hardware, als de energiebehoefte van deze hardware; in het bijzonder is daarbij van belang de mogelijkheid de energiebehoefte (vanuit de software) te kunnen besturen al naar gelang de behoefte. Daarnaast is efficiëntie van essentieel belang voor al die toepassingen waar de vereiste prestaties aan de grens van het mogelijke liggen.
- dynamiek in bereikbaarheid.
Mobiele systemen zullen met niet-voorspelbare regelmaat wel en niet participeren in allerhande netwerken. Dit leidt tot ontwerpproblemen omdat moeilijk voorspelbare situaties wel in de functionaliteit van de individuele systemen dienen te worden opgenomen. Dit probleem valt uiteen in een aantal onderzoeksgebieden, zoals bijv. het beheer over de netwerken, dat centraal, maar ook decentraal georganiseerd zou kunnen worden; de distributie van globale informatie die nodig is om gecoördineerd gedrag van alle in een netwerk participerende systemen te garanderen; detectie en afhandeling van fouten en ongewenst gedrag. Waar dergelijke onderwerpen in een telematica-setting ook bestudeerd worden, zijn er voor embedded systems toch zoveel aanvullende randvoorwaarden dat het noodzakelijk is binnen PROGRESS aandacht aan deze problemen te schenken, waarbij natuurlijk dient te worden aangesloten bij hetgeen in andere contexten wordt onderzocht en reeds bereikt is.
- dynamiek in functionaliteit.

Te voorzien is dat in toenemende mate embedded systemen, soms zelfs tijdens bedrijfssituaties, van nieuwe functionaliteit moeten kunnen worden voorzien. Waar dit bij grote, veelal administratieve, systemen al voor de nodige problemen zorgt, is de uitdaging voor ontwerpers van embedded systems kolossaal. Het mogelijk maken van dergelijke flexibiliteit heeft als neveneffect dat er voorzieningen zullen moeten worden getroffen om ongewenste aanpassingen te voorkomen: het probleem van systeem-security zal zich in de nabije toekomst ook voor embedded systems gaan doen gelden.

- coördinatie van gedrag.

Bij grote aantallen zich voortdurend verplaatsende systemen, waarbij de bandbreedte van communicatiekanalen sterk kan variëren, kan het gedrag van een individueel systeem ongewenste effecten hebben op het geheel. Hoewel dit probleem verdedigbaar buiten de scope van embedded systems onderzoek geplaatst zou kunnen worden, kan ook betoogd worden dat juist door de sterk toenemende verspreiding van embedded systems (zoals in GSM toestellen, die steeds meer onderdeel van een groter geheel gaan vormen) dit probleem is ontstaan. Ook zijn oplossingsrichtingen die buiten de sfeer van embedded systems plausibel kunnen zijn, in onze context veelal niet bruikbaar vanwege de beschikbare resources.

Dit overzicht beoogt niet uitputtend te zijn; het wordt aan de wijsheid van de Programma Commissie overgelaten de precieze focus voor elk van de oproepen tot het doen van onderzoeksvorstellen te bepalen. Bij deze focussering zal de roadmap een centrale rol vervullen.

Hoewel de macht van PROGRESS om binnen de Nederlandse universiteiten zwaartepuntvorming te bereiken zeer beperkt is, zal zij toch al het mogelijke in het werk stellen om een onderverdeling in hoofdonderwerpen te bewerkstelligen. Met behulp van de verschillende (virtuele) instituten zoals EESI (Eindhoven), TESI (Twente) en TIES (Delft) is hiervoor al een niveau boven de vakgroepen beschikbaar. Ook binnen de deelnemers aan het nieuw opgerichte instituut ESI is een efficiency- en effectiviteitsdrive te vinden die hoop geeft op verdergaande zwaartepuntvorming.

4.4 Innovatie

Zoals ook in de Roadmap is aangegeven is er een zekere verschuiving te verwachten in de richting van autonoom werkende embedded systemen die door koppeling in een netwerk een totaalgedrag gaan vertonen dat buitengewoon moeilijk te voorspellen is. Hiermee samenhangend is er een veelheid aan nieuwe onderzoeksvragen, waar op dit moment nog slechts sporadisch en weinig gecoördineerd aan wordt gewerkt. De nieuwe fase van PROGRESS zal voor dit onderzoek een sterke stimulans vormen en er is te verwachten dat er wellicht geheel nieuwe onderzoeksgebieden zullen kunnen worden ontsloten binnen de bestaande contouren van het wetenschappelijk onderzoek. Het feit dat de soort problemen die zullen moeten worden aangepakt niet uitsluitend relevant zijn voor embedded systemen en informatica, maar bijvoorbeeld sterke verwantschap hebben met systemen uit de natuur, roept de verwachting op dat, weliswaar in het begin op kleine schaal, samenwerkingen zullen ontstaan tussen embedded systeem specialisten en vorsers uit andere, traditioneel niet betrokken, disciplines.

Naast innovaties door het bij het onderzoek betrekken van andere wetenschappelijke disciplines, zijn vernieuwingimpulsen te verwachten van de toenemende afhankelijkheid van hardware en software. De exploratie van de ontwerpruimte in het gemeenschappelijk

ontwerp van hardware en software voor een (klasse van) toepassing(en) is een tot dusver nauwelijks ontgonnen gebied van onderzoek; de op de praktijk gerichte pogingen in deze richting leveren tal van interessante, uitdagende en uiterst relevante onderzoeksvragen waar evenzeer een vruchtbare samenwerking tussen bedrijfsleven en kennisinstituten mogelijk en nuttig zal blijken te zijn.

4.5 Werkwijze

De bewaking van de relevantie voor embedded systems van in het kader van dit programma uit te voeren onderzoek, de allocatie van financieringsmiddelen in beheer bij PROGRESS, en de controle op de uitvoer van de (mede-) gefinancierde onderzoeksprojecten, vallen onder de verantwoordelijkheden van een programmacommissie (PC). De PC bestaat uit:

- een voorzitter,
- een secretaris c.q. medewerker van het “programmabureau” (STW),
- 5 deskundigen uit de industrie, waaronder een vertegenwoordiger van het MKB,
- 5 deskundigen uit de universitaire wereld, waaronder de onderzoekscholen.

De PC rapporteert aan een door de subsidiërende instanties ingestelde Stuurgroep door jaarlijks een gecombineerd overzicht te verschaffen over enerzijds lopende projecten en bereikte resultaten, en anderzijds het jaarwerkplan met de activiteiten voor het komende jaar.

Voorstellen voor onderzoek kunnen door elke onderzoeksgroep in Nederland ingediend worden; dit betreft zowel universitaire groepen alleen als gezamenlijk met industriële groepen. Het verdient de voorkeur dat er door universiteit en industrie wordt samengewerkt, met name in de sterk toepassingsgerichte projecten. Dit is echter geen absolute voorwaarde, hoewel zelfs bij volledig universitair werk de industrie instemming dient te betuigen, b.v. door participatie in de gebruikerscommissie. De Programma Commissie beoordeelt of aan gestelde criteria is voldaan.

Afhankelijk van het soort onderzoek zal er een in relatieve grootte variërend deel van de onderzoekskosten door de industrie worden gedragen.

Het programma moet uiteindelijk leiden tot een versterking van de (Nederlandse) kennis en kunde op het gebied van Embedded Systems. Daarbij moet er ruimte zijn voor voorstellen die sterk aangestuurd worden door een industriële en maatschappelijke behoefte.

Voorbereiding en selectie

De beoordeling van onderzoeksvoorstellen geschiedt in drie stappen:

1. een vooraanmelding,
2. beoordeling van het definitieve voorstel door deskundige referenten, en
3. een uiteindelijk besluit door de programmacommissie (PC).

1. Vooraanmelding

De vooraanmeldingen hebben een omvang van maximaal twee pagina's. Hierin staan de namen van de aanvragers en een korte samenvatting van het onderzoek.

De PC beoordeelt of het voorstel binnen het programma past. Indien dit het geval is, worden de aanvragers gevraagd een uitgewerkt voorstel in te dienen.

De PC besluit wie de beoordeling uitvoert en adviseert m.b.t. de referenten.

Voorstellen die niet binnen het kader van het programma passen worden direct afgewezen.

2. Beoordeling

Het voorstel wordt naar deskundige referenten gestuurd. De referenten moeten afkomstig zijn zowel uit het academische circuit als ook uit de industrie. Aan de referenten wordt een aantal standaardvragen (m.b.t. de wetenschappelijke kwaliteit en de mogelijkheid dat het tot toepassing van de resultaten komt) gesteld. De referentencommentaren moet bespreekbaar zijn, d.w.z. niet alleen 'goed' of 'slecht', maar waarom is het 'goed', 'slecht', etc.

Beoordelingscriteria

Naast de gebruikelijke eisen die aan voorstellen voor onderzoek worden gesteld ten aanzien van kwaliteit, duidelijkheid, planning en inzet van mensen en middelen, dient aan de volgende speciale voorwaarden ten minste voldaan te worden om voor gedetailleerde beoordeling, en dus mogelijke subsidiering, in aanmerking te komen:

1. Het voorgestelde onderzoek moet betrekking hebben op Embedded Systems, zoals boven omschreven. Dat wil zeggen dat het zich moet richten op hetzij
 - (a) voor embedded systems noodzakelijke theorievorming, hetzij
 - (b) methoden en ondersteunende gereedschappen voor de ontwikkeling van ES, hetzij
 - (c) technieken die in de realisatie van dergelijke systems een belangrijke rol spelen, of
 - (d) experimentele implementaties.

Voorbeelden van onderwerpen die in aanmerking kunnen komen voor subsidiëring zijn: (type a) scheduling theorie voor gedistribueerde embedded systems; (type b) specificatietechnieken, mits duidelijk gemaakt wordt dat het niet gaat om specificatie in algemene zin, maar om specificatie van ES; (type c) architectuur van ES waarbij duidelijk wordt gemaakt dat en hoe de architectuur een bijdrage levert bij het realiseren van specifieke eigenschappen van embedded systems; (type d) de ontwikkeling van een prototype, waarin resultaten van onderzoek worden getoetst. Niet in aanmerking komen onderzoeksvoorstellen van een algemeen karakter, zelfs indien aannemelijk kan worden gemaakt dat de realisatie van embedded systems zou zijn geholpen met de te bereiken resultaten. Financiering voor dergelijk onderzoek moet via andere kanalen gezocht worden.

2. Er moet duidelijk worden gemaakt welk soort embedded systems baat heeft bij het te verrichten onderzoek. Dit dient te worden gestaafd door aan te geven hoe industriële utilisatie van te bereiken resultaten tot verbetering van hetzij product, hetzij productieproces leidt. Het is evident dat een dergelijke bruikbaarheidsanalyse alleen door belanghebbende industriële projectpartners kan worden verzorgd. Alleen uitspreken dat resultaten interessant zouden kunnen zijn is in dit kader onvoldoende. Voor deze bruikbaarheidsanalyse geldt overigens geen tijdslimiet: een onderzoeksvoorstel dat pas na 10 jaar tot overtuigende voordelen leidt kan evengoed in aanmerking komen, als een voorstel dat reeds na korte tijd directe toepassing vindt in de industrie. Maar ook in het geval van lange termijn onderzoek (wat in het algemeen fundamenteel van aard zal zijn) dient de industrie aan te geven hoe de resultaten gebruikt zullen worden en welk voordeel er mee te behalen zal zijn.
3. Industriële participatie moet in het voorgestelde onderzoek duidelijk zijn, en mag zich niet beperken tot de boven genoemde bruikbaarheidsanalyse. Op zijn minst zal de

industrie relevante toepassingen moeten inbrengen ten einde zeker te stellen dat het onderzoek zich inderdaad richt op uiteindelijke toepassing in ontwerp en realisatie van embedded systems.

Voorstellen moeten origineel en kwalitatief hoogwaardig onderzoek betreffen. De nieuwheid kan zowel liggen in het op een nieuwe manier toepassen van reeds bestaande technieken en methoden, als in het ontwikkelen van nieuwe technieken. Het is uitdrukkelijk de bedoeling om precompetitief onderzoek te verrichten en geen productontwikkeling te doen.

De opmerkingen en reacties van de referenten worden geanonimiseerd en aan de aanvragers voorgelegd voor een reactie. De aanvragers dienen op iedere reactie in te gaan. De opmerkingen van de referenten en het weerwoord van de aanvragers vormen tezamen het protocol, welke samen met het voorstel de basis vormt voor de uiteindelijke besluitvorming.

3. Besluit

De PC besluit over de toewijzing aan de hand van de protocollen en het beschikbare budget. Nadrukkelijk zal erop worden toegezien dat nimmer van belangenverstremgeling sprake kan zijn. In de praktijk betekent dit dat alle PC leden die op de een of andere manier bij een project betrokken zijn de vergaderzaal zullen verlaten tijdens de behandeling van hun voorstel.

Het kan voorkomen dat er tijdens de PC vergadering aanvullende vragen en opmerkingen zijn die het noodzakelijk maken de indieners van het voorstel opnieuw om een reactie te vragen alvorens tot een besluit kan worden gekomen betreffende het onderhavige voorstel.

Bij een project met een looptijd van meer dan twee jaar, geschiedt de toewijzing in twee fasen. Het totaal begrote bedrag wordt weliswaar voor dat project gealloceerd, de helft wordt echter slechts toegewezen (m.u.v. investeringsmiddelen, die ineens worden toegewezen). De toewijzing van de resterende middelen volgt twee jaar na start van het onderzoek en een positief verlopen tussentijdse evaluatie.

Het streven is erop gericht om het gehele beoordelingstraject, vanaf de bijeenkomst waar de vooraanmeldingen worden besproken, hooguit drie, vier maanden in beslag te laten nemen. Een korte beoordelingstijd mag uiteraard niet de kwaliteit nadelig beïnvloeden.

Uitvoering en begeleiding

Ten minste twee maal per jaar zal per project een formele bijeenkomst worden belegd met de onderzoekers en de gebruikers. De secretaris van de PC zal hierbij aanwezig zijn. Hier komen zaken aan de orde als halfjaarlijkse rapportage, samenwerking met de partners en eventuele bescherming van de resultaten d.m.v. octrooien. Aan de gebruikerscommissie van elk project zal een, niet met het project geassocieerd, lid van de PC worden toegevoegd voor onafhankelijke rapportage aan de PC.

Disseminatie van de resultaten

Jaarlijks wordt er een symposium georganiseerd waar de onderzoekers hun resultaten presenteren aan de gemeenschap.

In de loop van het programma zullen initiatieven ontwikkeld worden (deel)resultaten te verspreiden c.q. te exploiteren. Mogelijke kanalen hiervoor zijn: presentaties, publicaties, cursussen etc. In het bijzonder wordt voorgesteld vanuit het programma een actief beleid te voeren om het MKB te betrekken bij de activiteiten. Hiertoe zal onder meer onderzocht worden in hoeverre het mogelijk zal zijn de belangenorganisaties (zoals

SYNTENS, Het Instrument, FENIT) te interesseren voor een bemiddelende rol bij deze kennisverspreiding; een van de mogelijkheden daartoe zou kunnen zijn deze organisaties bij toerbeurt de gelegenheid te geven het jaarlijkse Symposium te organiseren – voor het Symposium 2002 is inmiddels voor deze opzet gekozen en heeft de FHI de organisatie op zich genomen.

Ook komt er een periodieke nieuwsbrief, die een ruime verspreiding zal krijgen.

Op de website van het STW is een PROGRESS-sectie opgezet waar publiek toegankelijke informatie m.b.t. het programma en de projecten staat vermeld.

Daarnaast zal aansluiting worden gezocht bij de door Senter ontwikkelde instrumenten en expertise voor het breed toegankelijk maken van mede met overheids geld ontwikkelde technologie. De door Senter in voorbereiding zijnde website voor IOP programma's zal zeker, bij uitvoering van dit programma, ook een sectie over embedded systems gaan bevatten.

Naast deze inspanningen voor kennisoverdracht in het algemeen, zal voor elk van de onder dit programma vallende projecten een platform worden gevormd waarin op regelmatige basis de vorderingen en problemen kunnen worden besproken. Voor het stimuleren van deelname aan dit platform zullen nieuw te starten projecten tijdig kenbaar worden gemaakt. Overigens betekent het deelnemen aan een dergelijk platform niet dat de bereikte resultaten ook zonder meer in de bedrijfsvoering gebruikt mogen worden. De daarvoor opgestelde regels (zie hoofdstuk 5, paragraaf 2) blijven onverkort van kracht.

5 Financiële en juridische aspecten.

5.1 Financiële aspecten

Bij de bepaling van de financiële middelen die nodig zijn voor het realiseren van PROGRESS is uitgegaan van het volgende model:

1. We onderscheiden drie projecttypen (overeenkomend met de in paragraaf 4.1 genoemde programmalijnen):
 - theorieprojecten,
 - methodiek- en gereedschapsprojecten,
 - ontwerp- en testprojecten.
2. Theorieprojecten worden gedacht in het algemeen te worden uitgevoerd door junior onderzoekers, methodiek- en gereedschapsprojecten door een mix van junior en ervaren onderzoekers, terwijl ontwerp- en testprojecten zullen worden uitgevoerd door junior, ervaren en senior onderzoekers. Alle deelnemende partijen (universiteiten, instituten eventueel samen met industrieën) zullen aan alle typen projecten kunnen deelnemen. Termen die meer in universitaire kringen gebruikelijk zijn: junior onderzoeker: AIO of OIO, ervaren onderzoeker: PostDoc, en senior onderzoeker: U(H)D of Hoogleraar.
3. De drie typen projecten zullen globaal steeds in een zelfde onderlinge verhouding worden uitgevoerd. Uitgegaan is van 40% theorie, 40% methodiek en 20% ontwerp.
4. Genoemde projecttypen hebben een verschillende gemiddelde grootte (in f.t.e.). Ontwerp en testprojecten zijn gemiddeld groter dan methodiek- en gereedschapsprojecten, die op hun beurt gemiddeld groter zijn dan theorieprojecten.
5. Voor alle projecten is rekening gehouden met begeleiding door een senior onderzoeker. Deze inspanning verschilt tussen de projecttypen.
6. Alle projecten zullen industriële inbreng hebben. De industrie zal deze inbreng zelf bekostigen. Deze zgn. industriële compensatie voorkomt bij elk project industriële vrijblijvendheid.

Er zij op gewezen dat het model alleen bedoeld is om in een schatting te maken van de kosten; elk individueel project kan en zal afwijken van het model.

Voor het rekenmodel is uitgegaan van onderstaande projectgegevens:

	min. proj.	max. proj.	proj. bezetting			Univ. bevel.	indus. bevel.	kEuro per jaar
			jun. onderz.	onderz.	sen. onderz.			
theoretisch	1	2	100%	0%	0%	0.25	0.10	120
methodiek/tools	1	2	75%	25%	0%	0.25	0.50	210
realisatie/prototypes	3	5	50%	25%	25%	0.25	1.50	450

Hierin staat voor elk van de drie projectsoorten een minimale resp. maximale projectgrootte, de verwachte projectsamenstelling in termen van junior, ervaren of senior onderzoeker, en de verwachte begeleidingscapaciteit aan Universiteit en aan industriële kant.

	kEuro/jaar
junior onderzoeker	50
onderzoeker	100
senior onderzoeker	150

Bovenstaande geschatte all-in personeelskosten per categorie onderzoeker zijn geïndexeerd t.o.v. PROGRESS-1. De in de eerdere tabel gemiddelde projectkosten per categorie zijn hieruit eenvoudig te berekenen. Kleine afrondingen zijn toegepast. De onderstaande tabel geeft ons rekenmodel voor projectfinanciering voor de volgende periode. Het is dus geen planning.

jaar	1	2	3	4	5	6
theoretisch	2	2	2	2		
methodiek/tools	1	1	1			
realisatie/prototypes	1	1				
theoretisch		1	1	1	1	
methodiek/tools		1	1	1		
realisatie/prototypes		1	1			
theoretisch			1	1	1	1
methodiek/tools			1	1	1	
realisatie/prototypes			1	1		
theoretisch				1	1	1
methodiek/tools				1	1	1
realisatie/prototypes				1	1	
totaal	4	7	11	12	7	3

Per rij (jaar) staat een voorstel van aantal projecten van een gegeven type; per type wordt in deze context geen uitspraak gedaan over de duur van een project, maar het ligt voor de hand bij "theoretische projecten" te denken aan AIO's en een duur van 4 jaar. Methoden- en toolprojecten duren wat korter en ontwerp- en testprojecten in verband met de snel wijzigende technologische state-of-the-art slechts 2 jaar. Dit alles resulteert in het volgende overzicht (bezetting in FTE's, kosten in KEuro en met beleid afgerond):

jaar	1	2	3	4	5	6	totaal
aantal projecten	5	9	13	12	7	3	
gemiddelde bezetting	8	20	23	20	12	5	
kosten	900	1700	2000	2100	1200	400	8300
matching industrie	300	550	650	700	400	100	2700
gevraagde subsidie	600	1150	1350	1400	800	300	5600

5.2 Juridische aspecten

Onderstaand zijn de hoofdpunten weergegeven van de intellectuele eigendom regeling voor het PROGRESS consortium. Het strekt tot aanbeveling dat per project de partners

zo spoedig en zo volledig mogelijk hun eigendommen en wensen tot (tijdelijke) geheimhouding specificeren.

1. Definities

- 1.1. *Project* is een duidelijk omschreven (deel)onderzoek binnen PROGRESS waarin een aantal deelnemers participeert.
- 1.2. *Bestaande Kennis* is kennis in het bezit van een van de deelnemers en niet afkomstig uit een Project.
- 1.3. *Bestaande Intellectuele Eigendomsrechten* zijn octrooirechten, auteursrechten e.d. in het bezit van een van de deelnemers en niet afkomstig uit een Project.
- 1.4. *Toekomstige Kennis* is kennis die tijdens de uitvoering en binnen het kader van een Project door een of meer van de deelnemers wordt gegenereerd.
- 1.5. *Toekomstige Intellectuele Eigendomsrechten* zijn octrooirechten, auteursrechten e.d. die tijdens de uitvoering en binnen het kader van een Project door een of meer van de deelnemers worden gegenereerd.

2. Eigendom van kennis en intellectuele eigendomsrechten

- 2.1. Eigendom van Bestaande Kennis en Bestaande Intellectuele Eigendomsrechten wordt niet gewijzigd.
- 2.2. Eigendom van Toekomstige Kennis en Toekomstige Intellectuele Eigendomsrechten berust bij de deelnemer(s) door wie die kennis en/of intellectuele eigendomsrechten is/zijn gegenereerd.
- 2.3. Indien een deelnemer geen octrooirecht wenst te vestigen op een uitvinding die binnen het kader van een Project is gedaan, hebben de andere deelnemers binnen dat Project als eerste een recht om het recht op octrooi over te nemen. Een dergelijke overdracht is ten minste onder voorbehoud van een gratis licentie aan de eerstgenoemde deelnemer en met inachtneming van alle verplichtingen die deze deelnemer heeft ten aanzien van een eventueel octrooi.
- 2.4. De deelnemers zijn ten opzichte van elkaar niet verplicht Bestaande of Toekomstige Intellectuele Eigendomsrechten in stand of in eigendom te houden, mits de rechten van de deelnemers onder de consortium- en projectovereenkomsten niet worden aangetast.

3. Gebruik en exploitatie

- 3.1. De deelnemers binnen PROGRESS verlenen elkaar een gratis licentie onder Bestaande en Toekomstige Kennis en onder Bestaande en Toekomstige Intellectuele Eigendomsrechten voor het doen van onderzoek binnen het kader van PROGRESS.
- 3.2. De deelnemers aan een Project verlenen elkaar een gratis licentie onder Toekomstige Kennis en Intellectuele Eigendomsrechten voor hun interne functionele doeleinden, daaronder begrepen eigen universitair onderzoek en eigen regulier universitair onderwijs.
- 3.3. Voor commerciële exploitatie, zoals aanbieden aan derden van producten en diensten, zal iedere deelnemer op verzoek aan iedere andere deelnemer aan hetzelfde Project een licentie verstrekken onder Toekomstige Kennis en

Toekomstige Intellectuele Eigendomsrechten op redelijke (in het licht van de bijdragen van de deelnemers) en meest begunstigde voorwaarden. Tussen deelnemers en per Project kunnen gunstiger licentievoorwaarden worden overeengekomen.

- 3.4. Als voor eigen gebruik of commerciële exploitatie van de resultaten van een Project door een deelnemer aan dat Project, het gebruik van Bestaande Intellectuele Eigendomsrechten noodzakelijk is, zal de deelnemer bij wie het eigendom van dergelijke Bestaande Intellectuele Eigendomsrechten berust daarvoor een licentie verstrekken tegen redelijke condities, tenzij daardoor de gerechtvaardigde zakelijke belangen van de laatstgenoemde deelnemer geschaad worden.
- 3.5. Het verstrekken van licenties aan derden onder Bestaande of Toekomstige Kennis en/of Intellectuele Eigendomsrechten is uitsluitend voorbehouden aan de deelnemer(s) bij wie het eigendom van die kennis en/of intellectuele eigendomsrechten berust.

4. Publicaties en geheimhouding

- 4.1. Geen deelnemer zal zonder voorafgaande schriftelijke toestemming kennis afkomstig van een andere deelnemer publiceren, op een andere wijze openbaar (laten) maken of gebruiken in een samenwerking met een derde op hetzelfde of een verwant terrein, vóór afloop van een overeen te komen periode na beëindiging van een Project. Toestemming zal niet op onredelijke gronden worden geweigerd.
- 4.2. Een voorgenomen publicatie kan op verzoek van enige deelnemer worden opgeschort met een maximum van zes maanden om die deelnemer in staat te stellen Intellectuele Eigendomsrechten te vestigen.

5. Toetreding van nieuwe deelnemers

- 5.1. Ten aanzien van een deelnemer die toetreedt tot een Project na begin daarvan wordt alle tot dan toe binnen dat Project gegenereerde kennis en intellectuele eigendomsrechten ten opzichte van die deelnemer beschouwd als Bestaande Kennis en Bestaande Intellectuele Eigendomsrechten.

6. Melding

- 6.1. Iedere deelnemer meldt voor aanvang van een Project, en gedurende het Project zodra dat duidelijk wordt, het bestaan van enige Intellectuele Eigendomsrechten in zijn bezit en die nodig kunnen zijn voor het gebruik of de exploitatie van de resultaten van het Project. Eventuele andere beperkingen ten aanzien van gebruik of exploitatie worden eveneens zo spoedig mogelijk gemeld.
- 6.2. Iedere deelnemer meldt voor aanvang van een Project, en gedurende het Project zodra dat duidelijk wordt, het bestaan van Intellectuele Eigendomsrechten van derden waarvan de deelnemer op de hoogte is of komt en die nodig kunnen zijn voor het gebruik of de exploitatie van de resultaten van het Project.

6 Bestuurlijke inbedding

De overheidsmiddelen die gevraagd worden voor dit programma zullen enerzijds moeten komen van OC&W/NWO en anderzijds van EZ. Bij OC&W/NWO, hier kortheidshalve aangeduid als NWO, gaat het daarbij om onderzoeksgelden van de stichting STW, het Gebiedsbestuur Exacte Wetenschappen, alsmede matching via NWO algemeen; bij EZ om gelden uit de kennisimpuls.

Daarnaast zullen door de participerende groepen in de verschillende door dit programma te ondersteunen projecten, te weten: de industrie, de universiteiten en de grote technologische instituten ook nog eens eigen middelen in worden gebracht.

De administratieve organisatie van de financiering van de verschillende projecten van dit onderzoeksprogramma is complex. Enerzijds streven de opstellers van dit voorstel er naar een zo groot mogelijke samenhang tussen de verschillende projecten te bewerkstelligen, anderzijds stellen de regelingen van nationale en supranationale overheden voor het subsidiëren van onderzoek, zeker waar het bedrijfsleven er bij betrokken is, stringente eisen. In het hier voorgestelde model menen wij een aanpak te hebben gekozen, die het zowel mogelijk maakt de industrie te betrekken bij de onderzoeksprojecten, als binnen de door de overheden gestelde kaders te blijven. Regelmatig overleg tussen de Programmacommissie en een van subsidiëntenwege gevormde stuurgroep zal kunnen verzekeren dat het programma optimaal tussen deze conflicterende randvoorwaarden blijft.

Subsidiënten van dit programma (EZ en NWO) voegen alle middelen noodzakelijk voor dit programma samen tot een fonds waarvan het beheer bij de PC ligt, onder de uiteindelijke verantwoording van de stuurgroep. De financiële afhandeling en begeleiding ligt in handen van de stichting STW, die eens per jaar via haar financiële jaarverslag rekenschap aan subsidiënten aflegt. Door de verschillen in de voor dit programma relevante subsidieregelingen, zal het noodzakelijk zijn de herkomst van de middelen te administreren. Bij de uitvoering van projecten zullen de voor de verschillende subsidiënten geldende regels strikt worden toegepast, waarbij het de verantwoordelijkheid van de PC is, in overleg met de projectindieners, te bepalen hoe de financiering van een ingediend project moet worden verdeeld over de verschillende financiële bronnen. Op deze manier zal het mogelijk zijn het bedrijfsleven actief te betrekken in vooral die projecten die een meer applicatief karakter hebben (dit is noodzakelijk vanwege de vereiste domeinkennis), zonder in conflict te komen met de geldende mededingingsregels.

Projecten die van meerdere financiële bronnen afhankelijk zijn, zullen daartoe in duidelijk herkenbare en goed omschreven deelprojecten worden verdeeld, waarbij voor elk van de deelprojecten gekozen zal worden voor het gewenste financieringsmodel. Hoewel deze werkwijze een zware belasting vormt voor zowel de indieners van projecten, als de Programma Commissie en de met de uitvoering belaste organen, heeft hij het voordeel dat de samenhang binnen dergelijke deelprojecten beter kan worden bewaakt dan indien losse projecten zouden worden gedefinieerd.

7 Referenties

- [1] PROGRESS
(PROGRESS-1 rapport)
1998

- [2] SWAP 2000; Software Actie Plan 1996-2000
Ministeries van Economische Zaken en van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
1996

- [3] Technologie Radar
Ministerie van Economische Zaken
1998

- [4] *Kennis in beweging*
(over kennis en kunde in de Nederlandse economie)
Ministerie van Economische Zaken
1995

- [5] Embedded Software Onderzoek in Nederland. Analyse en Resultaten
Rapport voor het Ministerie van Economische Zaken
IDC Benelux BV, augustus 1997

- [6] De Digital Delta (Nederland oNLine)
Gezamenlijke publicatie van de ministeries van Economische Zaken, Binnenlandse
Zaken en Koninkrijksrelaties, Financiën, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en
Verkeer en Waterstaat.
juni 1999

- [7] Concurrenieren met ICT-competenties
(Kennis en innovatie voor De Digitale Delta)
Ministeries van Economische Zaken en van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
april 2000

- [8] Verlangen naar de eindeloze zee
(Rapportage verkenningscommissie "Kennis voor de Netwerkeconomie)
Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid
Den Haag, januari 2001

- [9] Samen, strategischer en sterker
(Rapport van de Task force ICT-en-kennis)
Ministeries van Economische Zaken en van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
Den Haag, juli 2001

- [10] NOAG-i 2001 – 2005 (Nationale Onderzoeksagenda Informatica)
Adviescommissie Informatica, NWO-gebied Exacte Wetenschappen
augustus 2001

- [11] Universitaire ICT-kennis in Nederland. Van contacten naar contracten
TNO Strategie, Technologie en Beleid
najaar 2001
- [12] Onderzoeksprogramma PROGRESS – Zelfevaluatie 1999 - 2002-09-26
Boasson, Deprettere, Karelse, van Utteren en Vaandrager
Versie 2.0, september 2002

Appendix A: Voorbeelden van embedded systems

Er zijn legio voorbeelden te geven van embedded systems. Ter illustratie van de hier gegeven definitie worden vier voorbeelden gegeven van embedded systems die gezamenlijk een goed beeld geven van het terrein.

Een typisch voorbeeld van een embedded system is een pacemaker. Er is geen bewuste gebruiker interactie, de goede werking van het systeem is van levensbehoud voor de gebruiker en er zijn zeer specifieke inputs en outputs. De stringente door het milieu gestelde eisen maken een geïntegreerde ontwikkeling van alle aspecten van een pacemaker noodzakelijk.

Motormanagement van verbrandingsmotoren is een volgend voorbeeld. Dergelijke systemen dienen er voor te zorgen dat de verbranding in alle voorkomende omstandigheden optimaal verloopt; d.w.z. minimaal gebruik van brandstoffen onder een minimale uitstoot van ongewenste verbrandingsgassen. Input voor een dergelijk systeem zijn toerental van de motor, belasting, temperatuur van motor en voor de verbranding vereiste lucht, enz. Output zijn de regeling van brandstoftoevoer in zowel hoeveelheid als tijdstip, de hoeveelheid lucht en het tijdstip van ontsteking (indien te regelen). Een dergelijk ES heeft slechts beperkte interactie met de gebruiker, namelijk alleen indirect via het door die gebruiker gevraagde gedrag.

Moderne consumentenelektronica wordt in snel toenemende mate afhankelijk van door computers gerealiseerde functionaliteit. De toepassing van embedded systems in alle soorten consumentenelektronica, en niet meer alleen in digitale audio, vindt zijn oorzaak enerzijds in de technische en commerciële voordelen die te behalen zijn met configureerbare componenten, en anderzijds in de voortschrijdende integratie van traditioneel verschillende functies. Denk bijv. aan het gebruik van de televisie voor interactieve diensten. Deze embedded systems zijn van verschillende aard: aan de ene kant zijn er voor digitale TV zeer hoge prestaties nodig, aan de andere kant moet een door iedereen te gebruiken apparaat eenvoudig te bedienen zijn.

Een geheel andere klasse van embedded systems wordt gevormd door de systemen die ondersteuning bieden bij moeilijke, door mensen uitgevoerde taken zoals in medische toepassingen en bij luchtverkeersregeling. In dergelijke gevallen is het embedded system qua functionaliteit sterk verwant aan bedrijfskundige systemen, maar zijn de in- en outputs van veel diverser aard en gelden bovendien veel stringenter eisen ten aanzien van betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

Appendix B: Embedded systems in de Nationale Onderzoeksagenda Informatica

In de Nationale Onderzoeksagenda Informatica (NOAG-i) werden voor de periode 1997 – 2001 acht thema's genoemd:

- Elektronische Snelweg
- Embedded Systems
- Software Architectuur
- Requirements Engineering
- Multimedia
- Kennisontsluiting
- Virtual Reality
- Computational Science

In NOAG-i 2001 – 2005 zijn de thema's:

- Parallel and Distributed Computing
- Embedded Systems
- Software Engineering
- Multimedia
- Modeling, Simulation and Visualization
- Intelligent Systems
- Algorithms and Formal Methods (AFM)

In beide programma's komt het onderwerp embedded systems voor. De beschrijving die NOAG hanteert voor het gebied is hieronder gegeven.

Een embedded system is een informatieverwerkend systeem dat is "ingebouwd" of "ingebed" in een apparaat of systeem waarvan het de functionaliteit en de besturing geheel of gedeeltelijk bepaalt. Het informatieverwerkende systeem en het omvattende systeem zijn zodanig van elkaar afhankelijk, dat het één zonder het ander geen betekenis heeft. Het betreft apparatuur voor een scala aan toepassingen, zoals industriële processen, consumentenelektronica, alsmede diagnostische, analytische en wetenschappelijke systemen. Draadloze netwerken van embedded systems maken geheel nieuwe toepassingen mogelijk. De softwarecomponent van embedded systems wordt daarbij steeds belangrijker. Embedded systems kunnen processen optimaliseren en apparaten gebruiksvriendelijker, energiezuiniger en milieuvriendelijker maken. Zij kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan verhoging van de duurzaamheid en de kwaliteit van de samenleving.

Relevante onderzoeksvragen liggen op het gebied van:

- communicatieprotocollen;
- koppeling van theorie aan toepassingen (verificatie, validatie, testen);
- communicatie van stand-alone systemen door middel van draadloze communicatie ("wireless");
- mobiele (draadloze) communicatie; alomtegenwoordige ("ubiquitous") communicatie; "ambient intelligence";
- hardware/software co-design, hybride systemen (discrete en continue componenten);
- randvoorwaarden ("constraints") zoals temporeel gedrag, fouttolerantie, geheugengebruik, vermogensdissipatie, bestendigheid tegen onvriendelijke milieus enz.

Bijdragende informatica basisdisciplines:

- Architectuur
- Beeld- en sensorverwerking
- Constructiemethoden
- Dependability
- Formele methoden
- Gedistribueerde systemen
- Interoperabiliteit
- Ontwikkelgereedschap
- Parallele systemen
- Specificatiemethoden
- Testmethoden

Uit de zwaartepuntenmatrix van het Nederlands wetenschappelijk ICT-onderzoek blijkt dat er voor embedded systems zwaartepunten¹⁰ zijn in: Eindhoven, Twente, CWI, Leiden en Nijmegen.

¹⁰ zwaartepunt = 1 of meerdere hoogleraren + minimaal 5 onderzoekers + nationale en internationale zichtbaarheid

Appendix C: Embedded Systems Road Map