



Små som sandkorn, stora som städer

**STRATEGIDOKUMENT OM KOMPLEXA
MJUKVARUBASERADE SYSTEM**

**RAPPORT TILL STYRELSEN VID
STIFTELSEN FÖR STRATEGISK FORSKNING
1 OKTOBER 2007**

**STRATEGIPANELEN FÖR INFORMATIONS-,
KOMMUNIKATIONS- OCH SYSTEMTEKNIK
MED INRIKTNING MOT MJUKVARA:**

**Sven Christer Nilsson (ordf), Ola Knutsson (sekr)
Jakob Axelsson, Magnus Larsson, Jonas Löwgren,
Östen Mäkitalo, Juni Palmgren, Per Stenström,
Gustaf Söderlind, Olle Viktorsson, Anders Ynnerman**

Innehåll

SAMMANFATTNING AV SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	4
UPPDRAGET	8
1. PANELENS ARBETE, VISION OCH MÅL.....	9
1.1 Vision ...	9
1.2 Mål ...	10
1.3 Panelens arbetsformer ...	10
1.4 Panelens utgångspunkter och angreppssätt ...	10
1.5 Rapportens syfte och upplägg ...	10
2. IKST-OMRÅDETS UTVECKLING OCH UTMANINGAR	12
2.1 Mjukvaran utvecklas minst lika mycket som hårdvaran ...	14
2.2 Mjukvaran finns med i nästan allt vi gör ...	16
2.3 Det svenska perspektivet ...	17
2.4 Vad händer i omvärlden? ...	18
3. FRÅN TILLÄMPNINGSOMRÅDEN TILL FORSKNING OM KOMPLEXA SYSTEM.....	26
3.1 Fokus på forskning om komplexa system ...	28
4. DISCIPLINÄRA METODFORSKNINGSOMRÅDEN	31
4.1 Nät ...	31
4.2 Inbyggda och autonoma system ...	32
4.3 Systemarkitektur ...	34
4.4 Radio ...	36
4.5 Digital signalbehandling ...	37
4.6 Sensorsystem ...	38
4.7 Simulatorteknik ...	39
4.8 Simulering och beräkningsteknik ...	41
4.9 Knowledge discovery och visualisering ...	45
4.10 Informationssystem- och databasteknik ...	46
4.11 Drift och underhåll ...	48
5. UTVALDA TILLÄMPNINGSOMRÅDEN	51
5.1 Telekom ...	51
5.2 Fordonsindustrin ...	52
5.3 Process och automation ...	53
5.4 Råvaruindustrin ...	54
5.5 Flyg och rymd ...	55
5.6 Upplevelseindustrin ...	56
5.7 Energi- och miljöteknik ...	58
5.8 Vård och hälsa ...	59
5.9 Offentlig förvaltning och utbildning ...	61
5.10 eScience ...	62

6. SYSTEMORIENTERADE FORSKNINGSSOMRÅDEN	65
6.1 Systemteknik (Systems engineering) ...	65
6.2 Programvaruteknik (Software engineering) ...	66
6.3 Interaktionsdesign ...	67
7. BEDÖMNINGAR AV TILLÄMPNINGSOMRÅDENAS POTENTIAL OCH FORSKNINGS- OMRÅDENAS FÖRUTSÄTTNINGAR I SVERIGE	70
8. SSF:S TIDIGARE SATSNINGAR INOM IKST(M).....	73
9. RIKTLINJER FÖR FRAMTIDA UTLYSNINGAR	74
PANELENS SAMMANSÄTTNING.....	75

Sammanfattning av slutsatser och rekommendationer

Mjukvarudelen av området Informations-, kommunikations- och systemteknik (IKST(m)) fortsätter att öka kraftigt i betydelse och håller på att bli en allt mer dominerande del av alltfler verksamheter. Detta leder bl. a. till att områden som tidigare varit mekaniskt orienterade nu i stor utsträckning är informations-, kommunikations- och systemtekniska industrier, ett slående exempel från en svensk horisont är fordonsindustrin. Denna utveckling innebär också en kraftfull expansion av antalet komplexa system där i varierande grad en rad olika interna och externa system såsom mekaniska, hårdvarubaserade och mjukvarubaserade vävs samman till en komplex helhet med människan som sista del i systemet.

Olika typer av mjukvara finns med hela vägen från ritbordet via automationssystemen ute i fabrikerna till och i allt högre grad i konsumentprodukterna. Den driftsäkerhet vi som vanliga användare upplever i våra vardagsprogram hos webbläsare och ordbehandlingsprogram skulle aldrig accepteras i ett industriellt produktionssystem eller i en lastbil. I dessa är kraven på säkerhet, pålitlighet och underhållsmekanismer oerhört mycket större än i den programvara som en ungefär lika stor del av befolkningen brottas med på kontorstid. Ett orosmoln för de robusta systemen är dock att en ökad andel mjukvara och integration av andra mindre robusta system i sig kan medföra nya problem med driftsäkerhet som följd.

Det finns idag också industrier (t.ex. sökmotorsföretag) och vetenskapsgrenar (under begreppet eScience) som är helt informationsbaserade, och där verksamheten i stort går ut på att samla in, lagra, behandla, förädla och visualisera informationen innan den når en slutanvändare. Det har också skett betydande omsvängningar när det gäller vem som producerar informationen – på konsumentmarknaden är det i allt högre grad vanliga användare som gör det och i andra sammanhang är det ofta maskinerna själva genom simuleringar och driftshistorik, inte minst i kombination med sensorer och instrument.

Även om nu alltfler maskiner och människor använder IKST(m) med många positiva effekter, där de flesta inte märker av att kvalitetshöjningarna ofta beror på mjukvaran, så finns det en enorm potential kvar i IKST(m) som ännu är i sin linda i att förbättra en rad tillämpningsområden. Med en ökad integration av informationskällor öppnas för hela samhället viktiga möjligheter inom områden som hälsovård och offentlig förvaltning.

Mobil användning av system baserade på mjukvara är på mycket kraftig uppgång. Skillnaden mellan en dator och en mobiltelefon handlar mest om storleken på den fysiska apparaten. Mobiltelefonen har spridit sig betydligt snabbare ut i världen än vad datorn gjort. Den informationsåtkomst och den variation i kommunikationsmöjligheter som tidigare endast varit förunnad de utvecklade länderna har nu i rasande fart blivit tillgänglig för den överväldigande delen av världens befolkning. Sverige har i hög grad bidragit till denna tekniska utveckling och kommer med rätt satsningar att kunna fortsätta bidra och växa inom detta fält.

Mjukvaran blir också allt mer dominerande i mobiltelefonerna. Den flyttar också ut i våra fysiska omgivningar: i mobila enheter av olika slag, liksom till byggnader och offentliga rum. Utvecklingen inom IKST och andra relevanta områden medför att fysiska ting och platser allt oftare innehåller beräkningskapacitet, lagringsutrymme och inte minst kommunikationsmöjligheter för digital information. Digitala produkter och tjänster kan vara »små som sandkorn eller stora som städer», och de finns allt oftare omkring oss som en integrerad del av vardagsliv och arbetsliv. Ur användarnas och samhällets synvinkel

återuppväcks dessutom många viktiga frågor både kring tillgänglighet, nytta, trygghet och andra mervärden och kring personlig integritet, säkerhet och olika potentiella hot.

Hela denna utveckling kan beskrivas som en utveckling mot alltmer komplexa system med ett allt högre innehåll av mjukvara. Sverige har en lång tradition av systemkunnande, som har byggts upp under en lång tid allt sedan den första riktiga datorn såg sitt ljus strax efter andra världskrigets slut.

Panelens rekommendation är att **systemperspektivet** måste kraftfullt lyftas fram i den framtida forskningen om Sverige skall kunna behålla sin världsledande position inom de stora svenska exportnäringarna, samt driva på andra industrier som är i en växande fas samt utveckla nya möjligheter i offentlig verksamhet. Denna forskning skall innehålla väsentliga delar av **systemteknik**, **programvaruteknik** och **interaktionsdesign**. Systemteknik är den övergripande ingenjörsciensen som handlar om att utveckla och integrera system. Programvaruteknik är en disciplin som syftar till att förbättra hur man tar fram programvara på ett effektivt sätt med egenskaper som är förutbestämda. Interaktionsdesign i sin tur betecknar utformning av digitala produkter och tjänster med särskilt fokus på användare och användning. Dessa discipliner bildar tillsammans en viktig helhet som omfattar allt ifrån hur hårdvara fogas samman med mjukvara, de program som utför själva informationsbehandlingen, de maskiner som skall drivas med systemen, och i slutändan även de användare som skall använda systemen på till exempel industrigolvet, via offentlig förvaltning och hela vägen in i hemmiljön.

Panelen vill vidare hävda att det finns tillämpningsområden där forskningen inom IKST(m) kan göra mer nytta än i andra, och detta genom satsningar på specifika forskningsområden där forskningspotentialen bedöms som stor, och samtidigt ökade forskningsinsatser inom dessa bedöms leda till förbättrade förutsättningar för de olika tillämpningsområdena. Sådana satsningar bör ske med ett konsekvent systemperspektiv där helheten är lika viktig som de olika komponenterna.

En första aspekt som panelen anser är viktig, är att se till att Sverige bibehåller och vidareutvecklar sin ledande ställning inom tillämpningsområden där svensk industri redan är stark såsom **Telekom**, **Fordon**, **Process och automation**, **Råvaruindustri**, och **Flyg och rymd**.

En andra viktig aspekt är att utveckla tillämpningsområden där ny industri växer fram i Sverige och har potential att växa ännu mer framöver såsom **Upplevelseindustri** och **Energi- och miljöteknik**. En tredje aspekt som panelen har valt att prioritera är att stödja forskning som har tydlig koppling till områden där möjligheterna och användningen för IKST(m) bedöms som stora och kan ge stora kvalitetsförbättringar, men också effektivare och mer kostnadseffektiva lösningar för företag, individ och samhälle. Dessa områden är **Vård och hälsa** samt **Offentlig förvaltning och utbildning**.

Gemensamt för samtliga områden är att det i varierande grad finns behov som ligger utanför möjliga effekter av IKST(m). Behov inom t.ex. Vård och hälsa kan i flera viktiga fall åtgärdas med teknik på dagens nivå men ofta hindras detta av strukturella och organisatoriska förhållanden.

Panelen har valt ut ett antal forskningsområden som har bedömts ha stor potential för olika tillämpningsområden. I detta urval har panelen tagit hänsyn till en bedömning av förutsättningarna för svensk forskning på området idag. Faktorer som kritisk massa av forskare samt forskningens internationella position har vägt tungt i detta. Även en bedömning av om området kan nå forskningsfronten inom rimlig tid med rimliga resurser har vägts in. I det följande lyfts de forskningsområden fram som både har speciellt goda forsknings-

förutsättningar och som via viktiga tillämpningsområden har bedömts ge förutsättningar för ökad ekonomisk tillväxt, ökade chanser för företag att växa på marknaden samt att leverera stor användarnytta.

Inom forskningsområdet **Nät** finns det en intensiv forskning över hela världen men Sverige ligger fortfarande bra till. Fokus inom området är nästan uteslutande på paketförmädlade nät med syftet att utgöra grunden för kommande Internettillämpningar. Panelen anser att området har störst betydelse för Telekom, Fordon, och Upplevelseindustrin.

Forskningsområdet **Inbyggda system** handlar om datorsystem som är integrerade i andra produkter som t.ex. i en bil eller i en mobiltelefon. **Autonoma system** är också inbyggda system men agerar självständigt och är inte minst intressanta i komplexa miljöer, t.ex. i form av robotar eller obemannade flygplan. Panelen har bedömt att forskning inom området Inbyggda och autonoma system har störst betydelse för Telekom, Fordon, Process och automation, samt Flyg och rymd.

I det viktiga gränssnittet mellan hårdvara och mjukvara har forskningen inom **Systemarkitektur** sitt fokus. Systemarkitektur handlar om den struktur som definierar hur system bestående av mjuk- och hårdvarukomponenter är uppbyggda. Panelens bedömning är att området har störst betydelse för Telekom, Fordon, Process och automation samt Flyg och rymd.

Forskningsområdet **Radio** handlar om olika aspekter och tillämpningar av hur radiovågor används för överföring av information, t.ex. mobilt bredband. Att allt fler föremål utrustas med radiosändare/mottagare gör att området blir allt viktigare. Panelen har bedömt att området är viktigast för Telekom, Fordon, och Råvaruindustri.

Digital signalbehandling handlar om digital representation, mätning och filtrering av olika typer signaler (t.ex. röst, ljud och radar) och hantering av störningar, t.ex. brus i dessa. Viktiga tillämpningar finns inom en rad områden som till exempel tal- och videokodning i mobiltelefoner samt bildbehandling, talteknik, reglerteknik och medicinsk teknik. Panelen anser att satsningar på forskning med tillämpningsfokus på Telekom samt Vård och hälsa har störst potential.

Sensorsystem bygger på olika typer av sensorer som kan användas för att fånga upp och mäta strålning, ljus, ljud, temperatur, vibrationer m.m. Sensorer används nästan dagligen av många människor i vardagssituationer, och det kanske vanligaste exemplen är i bilar och i digitalkameror. Sensornät består av autonoma sensorer som tillsammans kan användas för övervakning av det fysiska rummet. Panelen har bedömt att forskning om Sensorsystem har störst effekt med en inriktning mot tillämpningsområdena Fordon, Vård och hälsa samt Energi- och miljöteknik.

Simulator teknik handlar om simulering av fysiska miljöer och tekniska system för operatörsinteraktion. De tidigaste exemplen inom området är kör- och flygsimulatorer men nu växer antalet tillämpningsområden. Området är en viktig komponent för forskning, design, produkttestning, utbildning och numera även för upplevelseindustrin. Panelen har bedömt att forskning om simulator teknik gör störst nytta med fokus på Upplevelseindustri samt inom Vård och hälsa.

Simulering och beräkningsteknik kommer förutom i många inomvetenskapliga sammanhang in i allt fler verksamheter från sinsemellan rätt skilda områden såsom sökmotorteknologi eller design och konstruktion av mobilsystem. Till de större simulering- och beräkningstekniska uppgifterna hör särskilt fältproblem (partiella differentialekvationer), statistisk analys och reglerteknik. Panelens bedömning är att forskningsinsatser inom området med riktning mot Fordon, Process och automation och Energi- och miljöteknik är av störst strategisk betydelse.

Knowledge discovery och visualisering är området som tar sig an att utvinna och visualisera information för att extrahera kunskap och möjliggöra nya upptäckter inom

det område som brukar betecknas eScience men som också har tillämpningar utanför akademien när det gäller t ex att fusionera och analysera sensordata inom processindustrin eller ge möjlighet till avancerad hantering av diagnostiska data inom hälso- och sjukvård. Panelen bedömer att satsningar inom området har störst betydelse inom Process och automation samt Vård och hälsa.

Informationssystem- och databasteknik handlar om att stödja utvecklingen inom olika typer av organisationer med framförallt olika databastekniker. En viktig del är verksamhetsanalys och hur den kan modelleras för att analysera hur verksamheter kan stödjas och utvecklas med mjukvara. Ett viktigt tillämpningsområde är beslutsstöd och kunskaps-hantering/spridning. Panelen har bedömt att satsningar inom området gör störst nytta inom Energi- och miljöteknik samt Vård och hälsa.

Området **Drift och underhåll** får allt större betydelse för den svenska industrin. Det handlar om att övervaka och sköta drift och underhåll av fabriker, utrustning, fordon och stora komplexa system. IKST(m) ger nya möjligheter att analysera de stora datamängder som kommer från sensorer, historiska data och samband som finns i moderna system. Panelen bedömer att forskningsinsatser med riktning mot Fordon, Process och automa-tion, Flyg och rymd samt Energi- och miljöteknik gör störst nytta.

Tillämpningsområdet **Offentlig förvaltning och utbildning** skiljer ut sig genom att systemorienterad forskning inom IKST(m) med anknytning till området är begränsad idag enligt panelens bedömning. Panelen ser dock en mycket stor potential för tillämpning av forskning inom IKST(m) framförallt inom områdena Knowledge discovery och visualisering samt Informationssystem- och databasteknik.

Panelens sammantagna slutsats är att framtida forskningsprojekt inom IKST(m) skall genomsyras av en helhetssyn med tre komponenter. I varje projekt skall en konkret **de-monstrator** för användning i ett av de utvalda tillämpningsområdena finnas med. Designen av denna görs med en forsknings- och kunskapsbas inom den **systemorienterade** forskningen. Vidare skall den **disciplinära metodforskningen** hämta konkreta problem-ställningar från demonstratorn, samt integrera sina lösningar i denna. Detta säkerställer att komplexitets- och integreringsaspekter genomsyrar alla projekt.

Uppdraget

Uppgiften för IKST(m), panelen för informations-, kommunikations- och systemteknik (mjukvara), är att

- under cirka ett år bedöma den internationella och svenska forskningsutvecklingen inom sitt verksamhetsområde,
- peka ut delområden som bedöms som strategiska för Sverige de närmaste fem åren,
- identifiera styrkeområden inom svensk forskning inom stiftelsens forskningsområden, och
- hitta för landet viktiga områden med otillräckliga forskningsinsatser i gränsytorna mellan stiftelsens traditionella verksamhetsområden.

1. Panelens arbete, vision och mål

Strategipanelen IKST(m) har i sitt arbete inriktat sig på att analysera var svensk forskning inom IKST befinner sig jämfört med omvärlden och vilka områden inom näringsliv, myndigheter och organisationer som är relevanta avnämare av sådan forskning.

Tanken är att gruppens resultat skall göra det möjligt för SSF:s styrelse och ledning att inrikta stiftelsens forskningsprogram på områden, som utvecklar det svenska samhället mot hållbar ekonomisk utveckling genom ett starkt näringsliv och en kostnadseffektiv förvaltning samt med hög kvalitet i samhällseliga tjänster. Det är vår avsikt att i denna rapport identifiera sådana forskningsområden, som

- stödjer svensk industri där den idag är stark (dvs. återfinns bland de främsta på aktuell marknad) och där den kommer att fortsätta att utvecklas starkt under planeringsperioden;
- kan stödja svensk industri inom områden, där den idag inte identifieras som varande bland de främsta inom respektive marknader men där det finns potential att vi kan få fram världsledande marknadsaktörer;
- stödjer stark utveckling av kvalitet och kostnadseffektivitet inom förvaltning i stat, kommun och landsting och därtill hörande verksamheter såsom utbildning (villket kan sammanfattas under begreppet »eGovernment»);
- stödjer en stark utveckling av kvalitet och kostnadseffektivitet inom området vård och hälsa.

Vidare har arbetet inriktats på att identifiera sådana nya tillämpningar där högtstående akademisk forskning kan bidra till att utveckla svensk industri och förvaltning att få en världsledande ställning.

En gemensam nämnare för dessa punkter är att det i allt väsentligt handlar om att identifiera de forskningsområden som bidrar till väsentliga förbättringar av komplexa system. De komplexa systemen finns sedan länge och blir allt viktigare inom den svenska exportindustrin, de blir alltmer framträdande i de nya industrier som växer fram och de finns redan i viss mån inom den offentliga förvaltningen och inom hälsovården, även om de där kommer de att bli alltmer nödvändiga om efterlängtade kvalitetsförbättringar och kostnadssänkningar skall bli möjliga.

Utvecklingen inom IKST möjliggör alltmer komplexa system med ökad integration av mekaniska, hårdvaru- och mjukvarubaserade system. Men det uppstår alltid problem om system som behöver integreras med varandra inte från början var tänkta att göra detta. Några exempel är alla de databaser och andra system som finns inom vårdsektorn, och mindre robusta system, t.ex. olika Internettjänster, som i många fall är tilltalande både ur ett tekniskt och verksamhetsmässigt perspektiv och också ur användarnas perspektiv. Dessa har också generellt sett en väsentligt lägre driftsäkerhet än industriella system som finns i fabriker eller i ett flygplan.

Behoven av att göra systemen mer flexibelt integrerbara, pålitliga, säkra och möjliga att underhålla under drift ökar markant i och med denna utveckling.

1.1 VISION

Den kraftfulla och hållbara ekonomiska utvecklingen i Sverige skapas av ett framgångsrikt näringsliv och av effektiva myndigheter och organisationer och möjliggörs i väsentliga delar av en världsledande IKST-kompetens som manifesteras av en relevant och högtstående akademisk forskning.

1.2 MÅL

Målet med SSF:s satsning är att år 2020 skall svensk IKST-mjukvara, som skall användas i komplexa system, uppfattas vara av samma kvalitet som svenskt stål, ur ett internationellt perspektiv. Svenskt systemkunnande skall vara något att lita på, och hela världen skall vara medveten om detta.

1.3 PANELENS ARBETSFORMER

Panelen har fram till denna rapportens slutförande haft åtta sammanträden. Arbetet har pågått under åtta månader. Panelen har fått olika skriftliga uppdrag under arbetets gång. Detta textmaterial har tillsammans med panelens diskussioner samt en omvärldsanalys utgjort grunden för denna rapport. De tekniska attachéerna i USA och Japan har hjälpt till med omvärldsbevakningen. Panelen har genomfört tre hearingar med representanter från industri, offentlig sektor och akademi. Panelen har använt dessa hearingar för att testa sina hypoteser om vilka de svenska styrkeområdena är samt vilka de strategiska forskningsområdena respektive tillämpningsområdena är.

1.4 PANELENS UTGÅNGSPUNKTER OCH ANGREPPSSÄTT

Att rita upp en fullständig karta över IKST(m)-området både var det gäller forskning och utveckling inom svensk industri och akademi i Sverige, och internationellt skulle kräva en insats långt utöver panelens uppdrag. Panelens utgångspunkt har istället varit att med utgångspunkt i en samtidsanalys av svensk forskning och dess potential för att stärka industri och samhälle identifiera de många utmaningar som IKST(m)-området står inför. Forskningsfronten ligger i många fall långt bortom de system som används idag, och i denna rapport finns framtidsvisionerna framförallt i beskrivningarna av de olika forskningsområden som panelen har identifierat som mest strategiska. Det står dock klart att dagens komplexa system bjuder på en mängd framtidsutmaningar som inte alltid kan bemötas med de absolut senaste inomdisciplinära forskningsresultaten, utan panelen ser ett stort behov av ett helhetsperspektiv där olika discipliner tillsammans måste bemöta och lösa systemorienterade frågeställningar. Det är med detta perspektiv som rapporten skall läsas.

1.5 RAPPORTENS SYFTE OCH UPPLÄGG

Rapportens syfte är att visa hur fundamentalt området IKST(m) har blivit för nästan alla delar i samhället, att denna utveckling fortsätter med accelererande fart samt att hög kvalitet i mjukvaran är en mycket viktig faktor för framgång inom en rad tillämpningsområden. Det är idag framför allt i utveckling av mjukvaran och kvalitetsförbättring i denna som nya marknader tas, nya affärsområden utvecklas, och verksamheter förbättras. Med ett utökat och förbättrat systemperspektiv kan vi uppnå ytterligare vinster i form av kunskapsframsteg, ökad användarnytta, felreduktion, kostnadssänkningar och effektivitetshöjningar för produkter och verksamheter inom en rad olika tillämpningsområden.

Rapporten vill också påminna om att Sverige är världsledande på flera områden, såväl inom industri som i akademi, och att Sverige har en lång tradition av världen erkänt högtstående systemkunnande. Panelen menar att det är tre viktiga typer av komponenter som måste integreras i väsentligt utökad grad för fortsatt svensk framgång. Dessa komponenter är ett antal utvalda tillämpningsområden, disciplinära metodforskningsområden och systemorienterade forskningsområden. Sammantaget leder rapporten fram till en slutsats om att framtida forskningssatsningar inte i första hand handlar om att ge mer pengar till några olika inomvetenskapliga områden utan att det istället är väsentligt med en ökad satsning på helhetsperspektiv inom IKST(m).

Rapporten fortsätter i kapitel 2 med en översyn av områdets utveckling, nutid och framtida utmaningar.

Kapitel 3 ger i sin tur en argumentation om behovet av ett systemorienterat synsätt där komponentperspektivet inom forskningen måste brytas, och istället ersättas av en helhetssyn inom utvecklingen av komplexa system. Med i detta synsätt finns de tre systemområdena systemteknik, programvaruteknik och interaktionsdesign som viktiga grundbultar i utvecklingen av komplexa system tillsammans med kombinationer av ett antal disciplinära metodforskningsområden och tillämpningsområden.

Kapitlen 4–6 fortsätter sedan med områdesfördjupningar av de disciplinära metodforskningsområdena, tillämpningsområdena samt de tre systemorienterade forskningsområdena. I dessa områdesfördjupningar görs också en stor mängd bidirektionella bindningar mellan de olika områdena för att ytterligare visa på behovet av ett system- och helhetsperspektiv.

Avslutningsvis beskrivs panelens syn på de olika disciplinära metodforskningsområdenas förutsättningar och strategiska nytta för de utvalda tillämpningsområdena. Rapporten avslutas med riktlinjer för framtida utlysningar för området.

2. IKST-områdets utveckling och utmaningar

Med milstolpar som transistorn (1947), den integrerade kretsen (1959), persondatorn (ca 1980), mobiltelefonen (1980-talet) och utvecklingen av World Wide Web (från ungefär 1993) har den moderna informationstekniken på kort tid utvecklats så långt, att den idag understödjer praktiskt taget all mänsklig verksamhet i den västerländska världen, såväl för den enskilda individen som i näringsliv och samhälle.

Mobiltelefonen har fått en långt större spridning än persondatorn. Hälften av jordens befolkning har inom en snar framtid tillgång till en mobiltelefon, och allra snabbast sprids den i Afrika. Sveriges roll i denna utveckling har varit, och kommer att kunna fortsätta vara, stor om rätt satsningar görs. Tre mycket viktiga bidrag till mobiltelefonens framgångar kommer från Sverige. Telefonstationssystemet AXE gav Ericsson en ledande global ställning när världens telefonnät digitaliserades, och med kunskapen från AXE är Ericsson fortsatt starka när det gäller utvecklingen av mobilsystem. GSM bygger till stor del på banbrytande arbete i Sverige och inte minst på ett ganska unikt samarbete mellan ett statligt verk, Televerket, och företaget Ericsson. I utvecklingen av själva mobiltelefonen har också svensk industri betytt mycket. Utan denna mobila utveckling, där svensk industri har varit starkt bidragande, hade inte hälften av världens befolkning kunnat få en telefon – världens kopparfyndigheter hade helt enkelt tagit slut.

Följande korta berättelse illustrerar hur mjukvaran och de komplexa systemen redan nu finns med i många vardagliga situationer.



Försäljaren Anna har ett stort område att täcka. Hennes kunder finns i många tätorter i Norrland och hon måste använda bilen för att kunna nå dem alla. Den är för henne ett arbetsredskap, som hon varken kan eller vill vara utan. Hon trivs med sin nya svenska mellanklassvagn med bra komfort och prestanda. Anna är en miljömedveten trafikant och har valt en energisnål bil med hybriddrift. Men framför allt uppskattar hon att den är säker och att den hjälper henne att förhindra olyckor och, om uturen skulle vara framme, minska skadorna. Hennes bil hjälper henne att undvika sladdar, till exempel, genom ett sinnrikt system, som reglerar uteffekten från motorn och bromsar ett hjul, om detta fått för mycket kraft. Med ABS-bromsarna kan Anna bromsa hårt på halt underlag och ändå behålla styrförmågan.

Skulle hon råka ut för en kollision skyddas hon av krockkuddar och ett säte som aktivt motverkar kollisionskraften och dessutom av ett nackstöd som förhindrar eller minskar risken för allvarliga pisksnärtskador.

Bilen är också utrustad med en aktiv radarsensor som automatiskt reglerar avståndet till framförvarande fordon, och som varnar henne om hon närmar sig med för hög hastighet eller om bilen framför bromsar. Om hon närmar sig så hastigt att en kollision är oundviklig, bromsar bilen automatiskt för att minska skadorna. Det finns även sensorer

som anger avståndet till hinder framför och bakom bilen vid parkering. Och systemet informerar Anna om väsentligheter genom ett effektivt interaktionssystem med syn, hörsel och känsel. Skulle arbetsdagen bli sen så håller bilen ett öga på om hon börjar bli för trött för att framföra fordonet på ett säkert sätt.

Anna har ofta kontoret om inte på fickan så i bilen. Mobiltelefonen är ett outhärligt redskap, och den är trådlöst kopplad till bilens färrdator och displaysystem med handfriutrustning för att öka bekvämligheten och säkerheten vid samtal under färd. Med mobilen har hon också tillgång till en stor mängd tjänster utöver att kunna prata. Hon kan få kontinuerlig information om trafiksituationen och ta reda på var vägkrogar och verkstäder finns, om det skulle behövas. På kvällarna, ensam på hotellrummet, kopplar hon upp sig med videosamtal till familjen och får se och höra barnen och sin man innan hon faller i sömn. Nästa dag skickar sonen ett bildmeddelande med en bild på snögubben han rest utanför huset.

Samma sätt att kommunicera använder Anna med kunden, som vill visa en idé innan de träffas. Väl hos kunden kopplar Anna upp sin bärbara dator via mobilt bredband till sitt företags produktions-, lager- och leveranssystem och kan boka nya order i realtid med ett omedelbart ordererkännande.

Den här lilla berättelsen illustrerar två tillämpningsområden, fordon och telekom, där svensk industri är världsledande. Exempelen är goda illustrationer på användningen av informations-, kommunikations- och systemteknik, IKST, både hårdvara och mjukvara. Framför allt illustrerar de svensk industris grundläggande kompetens att bygga system, som utnyttjar tillgängliga komponenter, processorer och programmeringstekniker på ett effektivare och intelligentare sätt än konkurrenterna och därigenom lägger grunden till marknadsledarskap.

Ett fordon idag innehåller många processorer av olika slag sammankopplade i autonoma nätverk där komplexiteten ofta ökar påtagligt med varje ny funktion som tillkommer. Tillväxten och komplexiteten ligger främst i mjukvaran.

En avancerad mobiltelefon, som Annas, har också den flera processorer och digitala signalbehandlare. Den totala processorkapaciteten i en s.k. smart phone överstiger i många fall den i en avancerad PC!

Den komplexa mjukvaran är i många system inte det som syns – den finns där och tas för självklar och kan verka vara utan behov av vidareutveckling. I exemplet med Anna så skulle många delar i hennes mobila verksamhet vara helt omöjliga utan mjukvara. För det mest löper Annas arbete väl och hon använder bara tekniken utan att tänka på den, och då märks inte den avancerade mjukvaran. Självklart hamnar hon i mobilskugga emellanåt och tappar kontakt med både GSM-nät och 3G-nät. Mer allvarligt blir det emellertid när servern som förser henne med kunddata och orderhantering går ner. En sådan server kan gå ner av flera orsaker: t.ex. hårdvaruproblem, illvilliga intrång, instabil mjukvarulösning i servern så att den slutar att fungera när viss typ av data laddas på den, eller icke-robusta beroenden till andra program, bara för att nämna några.

Verkligt allvarligt för Anna blir det när de omfattande IKST-lösningarna som hennes bil bygger på, av olika orsaker, slutar fungera. Det handlar inte enbart om säkerhetsrisker under färd, utan också om att det krävs ett stort och kanske framförallt ett annat kunnande än tidigare för att åtgärda problemen. Anna har säkert själv börjat lita på den rad av gränssnittslösningar och olika tjänster som finns tillgängliga. Detta i sig leder till ökad frustration och osäkerhet hos Anna när dessa lösningar inte fungerar. Det är också så att de komplexa system som ingår i Annas värld kommer från många olika leverantörer. Ju

mer beroende bilen blir av nät och externa tjänster desto svårare blir det för leverantören av själva fordonet att ansvara för helheten. I Annas mobiltelefon finns idag också program från en rad leverantörer, och de alltmer generella operativsystemen gör att allt fler nya släpps in. Sammanfattningsvis kan man säga att de problem som fanns för en leverantör att utveckla ett komplext system nu har mångfaldigats när en rad olika leverantörer, med varierande krav på t.ex. driftsäkerhet, bygger delsystem för en komplex helhet, där Anna är den beroende användaren.

Utvecklingen inom IKST-området har många positiva effekter såsom säkrare fordon och flexibla arbetssätt som i exemplet med Anna ovan. IKST:s allidaglighet är ett problem för området.¹ Från att under några år ha uppfattats som en revolution sker nu utvecklingen inom IKST åter i mångt och mycket i det tysta. De stora samhällsförändringar som s.k. IT-profeter berättade om under 1990-talet har dock till stora delar verkligen inträffat idag, t.ex. är e-handeln omfattande och välutvecklad. Ibland har hela branscher kommit under kraftig press från nya typer av mjukvara vilket lett till dramatiska omstruktureringar. Resebyråer och bankernas enklare verksamhet är exempel där detta redan skett, men flera andra branscher kommer att följa. Inte minst musik- och filmbranschen är under starkt omvandlingstryck.

Integreringen av IKST i nästan alla verksamheter har en stor ekonomisk påverkan. I samband med att IT-bubblan sprack runt år 2000 fick denna insikt sig en törn. En rapport från amerikanska ITIF² hävdar dock att för USA:s del bidrog IKST till två tredjedelar av tillväxten och nästan all tillväxt i arbetsproduktiviteten under åren 1995 till 2002. Även i många andra länder i västvärlden har IKST haft en stark påverkan på tillväxten. I rapporten lyfter man fram flera exempel på det goda som IKST för med sig: fler människor i arbete genom flexibla arbetsmiljöer och arbetstider; automatisering av vissa arbetsuppgifter ger möjlighet till fokus på den kreativa delen av arbetet; företagen kan nå högre kvalitet i produkter och tjänster helt enkelt genom att det är enklare att samla information om produkters och tjänsters kvalitet; IKST bidrar dessutom till mer innovation exempelvis genom nya verktyg som förenklar upptäckter samt verktyg för forskare att arbeta mer tillsammans över institutions- och landsgränser.

De tekniker och vetenskaper som området inrymmer har dessutom, på gott och ont, visat sig få både sociala och kulturella återverkningar. De tekniska innovationer som utvecklingen genererar kompletterar alltid de gamla teknikerna, och ibland så ersätter de dem t.o.m. helt. De förändringar dessa nya innovationer innebär kan vara svåra att förutse. Ungdomar har världen över anammat nya tekniker som påverkat umgänges- och rentav beteendemönster, på gott när de håller kontakt med sin vänskrets på vad man skulle kunna kalla professionell nivå – på ont när de slutar skolan för att spela dataspel på heltid. Traditionella massmedia befinner sig i en mycket knepig situation, eftersom förändringarna i kostnadsbilden för mediaföretag av olika slag över tiden blir dramatiska. Tidningars totalupplagor tenderar att sjunka världen över, och ändå uppstår konkurrerande gratisalternativ samtidigt. TV-mediet påverkas av nya möjligheter att nå konsumenterna, både i realtid och som video. Experter av olika slag kan bygga sin konsultställning på bloggande, som är tillgängligt för alla och som även kan bidra att höja ribban för konkurrenter. Konstnärer jobbar alltmer i och med den digitala världen och världsuppfattningen.

1. *Computational science: Ensuring America's competitiveness*. PITAC, 2005.

2. Atkinson, R.D., McKay, A.S. (2007). *Digital prosperity: Understanding the economic benefits of the information technology revolution*. Rapport från The Information Technology and Innovation Foundation.

2.1 MJUKVARAN UTVECKLAS MINST LIKA MYCKET SOM HÅRDVARAN

Hårdvarans prestanda har länge utvecklats dramatiskt. Den s.k. Moores lag har blivit mycket uppmärksammat. Den har hittills korrekt förutsagt att datorkapaciteten (processorhastighet och minnesstorlek) fördubblas ungefär var 18:e månad. Men idag sker utvecklingen ännu snabbare. På processornivå innebär det att beräkningskapaciteten fördubblas var artonde månad, på minnesnivå var tolfte månad och nätverkskapaciteten



Witold, 37. Gillar lugnet och människorna i Norrbotten. Hoppas få stanna där så länge det går.

fördubblas var nionde månad (Cyberinfrastructure, NSF). Behövs det då verkligen någon forskning och utveckling inom mjukvaruområdet? Är det inte bara att byta dator och mobiltelefon, lägga till mer datalagringskapacitet och betala för mer bandbredd så kommer alla efterlängttade fördelar automatiskt: bättre och billigare IT-produkter och tjänster? Och behövs det verkligen fler produkter och tjänster – klarar sig inte de flesta verksamheter med det som redan finns?

Även om det inte är helt uppenbart så faller det nästan automatiskt ut att hårdvarans och mjukvarans utveckling ger många möjligheter men också utmaningar för dem som utvecklar, driver och underhåller datorprogram och system. Det finns så många möjligheter: med snabbare processorer kan man göra fler beräkningar per sekund och med mer minne kan man samla in, organisera och lagra mer data till en allt snabbare sjunkande kostnad.

Och med förbättrad nätverkskapacitet kan allt fler maskiner och människor kommunicera med varandra, möjligheterna är oändliga. Förhållandet mellan processorkapacitet, datalagring (minne) och nätverkskapacitet är intressant och reser frågor om var beräkningar skall utföras respektive data skall lagras. I nuläget ser vi en tendens åt att ha snabba processorer och stora hårddiskar i små apparater men frågan är vad som händer när och om nätkapaciteten blir avsevärt större och mycket billigare?

Kanske skulle många användare vilja ha alla sina data lagrade centralt³ för att kunna komma åt dem från vilken terminal (dator, mobil, mediaspelare, skogsmaskin, operativ enhet etc.) som helst via ett robust nät? Där leverantören tar hand om back-up, migrering osv. Denna tjänst finns i viss mån idag, och flera aktörer erbjuder central lagring i anslutning till t.ex. e-posttjänster. Det är dock många fler faktorer som styr teknikutvecklingen än vad användarna vill ha och områdets vetenskapliga framsteg.

En något omvänd utmaning består i att med mjukvara integrera olika distribuerade databaser, sensordata, instrumentdata, och beräknings- och visualiseringsplattformar i ett integrerat användargränssnitt, för att möjliggöra visionen i det som brukar kallas eScience. Det skulle ge oss virtuella laboratorier där t.ex. forskare oberoende av plats skulle kunna samla in och studera data från t.ex. flera olika teleskop runt om i världen, och jämföra dessa med historiska mätserier som har gjorts tillgängliga via t.ex. ett antal nationella databaser. Här finns dock olösta problem, t.ex. otillräcklig överföringskapacitet, bristande standardisering, små resurser för metadata-uppmärkning, protektionism samt bristande perspektiv på systemdesign och interaktionsdesign.

Inom vård och hälsa skulle den här typen av teknologier kunna bidra till ett svenskt försprång genom att vi har en högteknologisk sjukvård, en mängd olika databaser sedan ganska långt tillbaka, en befolkning som är positivt inställd till biomedicinsk forskning samt en generellt hög nivå av IT-vana bland vårdpersonal och befolkningen i stort. Det som i stor utsträckning saknas är ett systemperspektiv på hela verksamheten. Om vi skall få efterlängttade effekter av IKST inom det här området måste olika datakällor integreras och göras tillgängliga både för vårdpersonalen samt också för vårdtagarna. Analoga synergieffekter bör kunna uppnås mer generellt inom offentlig förvaltning, inom det som brukar kallas eGovernment. På miljöområdet finns det ett stort behov av liknande helhetslösningar. Det finns mycket kunskap om klimatförändringar, föroreningar osv. men det är fortfarande svårt att koppla ihop denna med människors vardag. En intressant aspekt i just detta sammanhang är hur den osäkerhet som finns t.ex. i klimatmodellerna skall förmedlas till medborgarna.

3. Här avses inte centralt i rent fysisk mening, utan snarare att accessen centraliseras.



Manuela, 16. Tycker det är onödigt att åka in till sjukhuset varenda månad för det funkar ju så bra med insulinpumpen och självtesterna.

Att hårdvaran har utvecklats i rasande takt känner de flesta till men det är inte lika känt att den algoritmiska utvecklingen i stort sett har varit lika snabb, eller ibland rent av snabbare än hårdvaruutvecklingen, under de senaste 30–40 åren. Förutsättningen för denna tekniska och vetenskapliga utveckling har varit just datorprestanda: ju större problem man kan ta sig an (förutsätter stor datorprestanda) desto mer effektiva algoritmer kan användas, och man får därigenom ut både fördelen av effektivare hårdvara och effektivare mjukvara.

Den rena hårdvaruutvecklingen har visat sig följa vad som nästan framstår som naturlagar. Om några få år, så kommer det egentliga behovet att någonsin radera några data från hårddiskar att vara borta. De gränser för våra möjligheter som hårdvaran sätter flyttas hela tiden. Och för programvaran där vi realiserar vad vi verkligen vill göra med tekniken, ja där finns egentligen inga begränsningar. Mjukvaruindustrin har också utvecklats från att ha

varit en liten del inom hårdvaruföretagens verksamhet till att innehålla några av världens största företag. Samtidigt utvecklas själva företagsstrukturen i denna moderna bransch både snabbt och ibland överraskande jämfört med vad vi vant oss vid från traditionella industrier. Överraskande därför att tekniken inte sällan tenderar att tvinga fram ett nytänkande kring själva affärsidéerna. Sannolikt finns utrymme för fler sådana överraskningar.

2.2 MJUKVARAN FINNS MED I NÄSTAN ALLT VI GÖR

Den utveckling som redan skett har gjort mjukvarans betydelse enorm för industri, offentlig sektor, forskning och individ i det västerländska samhället. Mjukvaran är grundläggande i alltifrån barnets mobila spelkonsol till den infrastruktur som är helt nödvändig för det moderna samhällets basfunktioner, kraftnät, transporter, osv.. Mer än 50 procent av befolkningen i Sverige använder Internet varje dag.⁴ I åldersgruppen 16–24 år är siffran över 75 procent. Programvara som användes endast av ett fåtal för femton år sedan är numera allmängods. Sådant som sms och e-post är numera praktiskt taget nödvändigt om man vill delta i ett normalt samhällsliv. Mobiltelefonen finns i varje medborgares hand, och få kan nu leva utan denna, varken privat eller professionellt. Ny social programvara såsom bloggar och community-applikationer (t.ex. Facebook) gör att vi kan knyta ihop våra liv med alltfler vänner och bekanta. Om Web 2.0 nu kan sägas ha slagit genom bland webbanvändare och gjort människor i alla åldrar till »content providers» kommer det kanske att bli än mer revolutionerande när den här typen av social programvara når våra mobiltelefoner.

Forskningens påverkan på våra vardagsprodukter är ibland stor utan att detta får speciellt mycket uppmärksamhet. Ett exempel är Googles PageRank-algoritm som bygger på avancerad beräkningsteknik⁵ (gigantiska matrisberäkningar) och enkla men smarta observationer av sociala relationers betydelse för Internets struktur. Genom relevansberäkningar baserade på att många referenser (länkar) går till ekonomiskt, kulturellt och socialt viktiga personer, företag och organisationer, och att få men relevanta länkar går ut från dessa, skapades en sökmotor som var svår att lura. Plötsligt fanns det en sökmotor som var radikalt bättre än alla andra och inte översvämmade användaren med skräpdokument. Massan av användare bytte sökmotor utan att ta notis om att det var två doktorander från Stanford som låg bakom denna utveckling. Det är svårt att som användare erfara den komplexa mjukvaran bakom t.ex. Google när man skriver in sina sökord i det enkla webbgränssnittet, och det är något som är symptomatiskt för stora delar av IKST(m)-området. Detta kan ses som en stor framgång – användarna behöver kunna allt mindre

4. SCB, första kvartalet 2006.

5. Google är en av de största beräkningsmaskinerna i världen. Man uppgav i november 2004 att deras sömaskin indexerar och gör beräkningar på 8 miljarder sidor/dokument. En sökning på bokstaven "a" den 21 september 2007 gav en träfflista med länkar till 16 980 000 000 dokument.

om systemen för att använda dem (jmf. blogg-explosionen, Web 2.0), men det finns också faror här – alltför personer kan luras av ganska enkla tekniska knep. Den senaste tidens bedrägerier riktade mot användarna av olika Internetbanker avspeglar denna utveckling.

2.3 DET SVENSKA PERSPEKTIVET

Exempel på svensk mjukvara som har uppmärksammats mycket den senaste tiden är t.ex. Trendalyzer och olika program från Tradedoubler. I Sverige finns också en framväxande spelindustri som utvecklar populära spel som t.ex. Battlefield. Mer i skymundan och mer forskningsnära finns internationellt konkurrenskraftig mjukvara från t.ex. företag som Effnet och Virtutech. Störst ekonomiskt värde har dock den mycket avancerade mjukvaran i olika systemlösningar från t.ex. ABB, Volvo, Saab och Ericsson. Dessa traditionella, men numera mycket IKST-tunga företag står tillsammans för en stor del av Sveriges exportinkomster.

Man kan fråga sig vilka som kan bli de nya svenska exportföretagen? Svaret är att de nya exportföretagen är desamma som tidigare, och att dessa utvecklas alltmer till företag

Utan historia ingen framtid

Sverige och svensk industri intresserade sig tidigt för användningen av datorer ("matematikmaskiner, datamaskiner") inom försvaret, försvarsindustrin och inom den avancerade och tekniktunga verkstadsindustrin.

Professor Stig Ekelöf från Chalmers studerade redan 1946 ENIAC, världens första generella elektroniska datamaskin, på plats i Philadelphia. Han skrev en rapport som särskilt intresserade ASEA och Saab, förutom de ursprungliga uppdragsgivarna som var FRA, Marinförvaltningen, Vetenskapsakademien och Ingenjörsvetenskapsakademien. Försvaret förordade inköp av en maskin från utlandet inom en kostnadsram om två miljoner kronor, och dessa medel anslogs snabbt av regeringen i maj 1947.

Kalla krigets inträde gjorde det omöjligt att få köpa en maskin i USA, och det bestämdes att vi skulle bygga en egen maskin i Sverige. För ändamålet inrättades i november 1948 Matematikmaskinnämnden. Relämaskinen BARK stod klar 1950 och den efterföljande rörmaskinen BESK togs i bruk 1953. Samma år färdigställdes rörmaskinen SMIL i Lund. I konstruktionerna deltog bl. a. LM Ericsson och Televerket. Dessa datamaskiner var tidiga exempel på gediget svenskt ingenjörskunnande understött av målinriktade forskningsinsatser från akademien.

Ungefär samtidigt förberedde Sverige i hemlighet utvecklingen av ett svenskt atomvapen, och kärnforskningen koncentrerades till AB Atomenergi, sedermera även till ASEA Atom. Saab fick i uppgift att utveckla missiler, inkluderande "on-board computers", och stridsledningssystem. Data- och elektronikdivisionen vid Saab, med varumärket Datasaab, utvecklade för missilprogrammet datamaskinerna D1 och D2, som var avsedda för stridsledning. Med denna utveckling av ett svenskt atomvapen lades en viktig grund för en svensk dataindustri och systemkunnande och för grundläggande IT-forskning avseende både hård- och mjukvara.

Efter riksdagsbeslutet i början av 1960-talet om en nedläggning av atomvapenprogrammet övergick DatasaaBs utveckling delvis mot en civil marknad. Dåvarande finansministern Gunnar Sträng stärkte Saabs utveckling genom att låta Riksskatteverket inköpa 21 stycken datamaskiner för länens skatteadministration, detta i konkurrens med IBM.

Gunnar Sträng hävdade redan 1956 att uppbyggnaden av de nya nationella "försäkringssystemen" skulle baseras på "elektronisk databehandling" vilket sin tur skapade efterfrågan på systemanalytiker och programmerare. Redan tidigare hade matematikinstitutionerna vid universiteten satt igång forskning om datamaskinernas konstruktion, mjukvarumiljö och programmering.

Datasaab fick 1969 en order från de nordiska sparbankerna att utveckla och installera över 5000 terminalarbetsplatser för bankkassörer. Dessa terminaler baserades på en egenutvecklad minidator kallad D5. Sparbankskontoren kopplade samman sina D5-datorer i en ny typ av kommunikationsnät med väsentligt högre datahastigheter än man tidigare använt. Inom Datasaab utvecklades egna effektiva programsystem, som var anpassade till administrativa tillämpningar i en nätverksmiljö. Ån en gång hade ett högtstående systemkunnande banat väg för en svensk världsprodukt.

Mikroprocessorn och persondatorn gjorde det möjligt att ersätta det högt specialiserade kassaterminalsystemet med mer generiska system. Ericsson Information Systems hade förvärvat Datasaab och började under tidigt 1980-tal utveckla en egen persondator. Den kommersiella framgången uteblev dock och verksamheten avyttrades.

Ericsson behöll dock väsentliga delar av systemverksamheten framför allt i Linköping. Utan tvekan är det så att utan det tillskott på kompetens inom datorkonstruktion, systemkonstruktion och maskinnära mjukvaruutveckling som Ericsson fick genom förvärvet av Datasaab, hade Ericsson-koncernens avancerade teknikutveckling inte haft samma omfattning i Sverige, som nu är fallet.



Christer, 43. Har funderat mycket på klimateffekterna, men snart ska det gå att köra koldioxidneutralt.

där en betydande del av verksamheten i själva verket handlar om att utveckla mjukvara och bygga system. För ABB handlar det t.ex. om att bygga alltmer autonoma robotar och detta görs i stor utsträckning med mjukvara för det är i denna som robotens »beteende» programmeras. I fordon som levereras av t.ex. Volvo utgör mjukvaran en allt större och viktigare del. Dagens trots allt ganska låga nivåer av emissioner hade varit helt omöjliga att uppnå utan den förfinade reglering som dagens datoriserade system möjliggör. Andra exempel är antisladdssystem, krockkuddar och kollisionsvarningar som är helt beroende av avancerad mjukvara.

Ericsson bygger in alltmer mjukvara i sina produkter, alltifrån telefoner till mobilsystem där ett allt viktigare område är drift och underhåll av dessa. I ett företag som SAAB Aerosystems arbetar en betydande del av de anställda med mjukvaruutveckling. Mjukvaran i SAAB:s system blir t.ex. central i utvecklingen av obeman-

nade farkoster. Detta medför att behovet av forskning och utbildning inom området blir både stort och brett.

En intressant fråga i de vidare diskussionerna är vilka mjukvaror som bidrar till stora gruppers försörjning och välbefinnande, och vilka mjukvaror som leder till enskilda personers ekonomiska oberoende? Med det industri- och samhällsperspektiv som panelen har tagit är det framförallt den forskning som leder till ett bredare genomslag i industri och samhälle som skall stödjas. Det är väsentligt, anser panelen, att den mjukvaruutveckling som bidrar till ökad sysselsättning i Sverige och kostnadsbesparingar och kvalitetsförbättringar i vård och hälsa samt i offentlig förvaltning och utbildning ges möjlighet att växa och utvecklas genom högtstående forskning med ett kraftfullt systemperspektiv.

2.4 VAD HÄNDER I OMVÄRLDEN?

En omfattande svensk genomgång av området gjordes under åren 1999–2001 med uppdatering under åren 2003–2004 av projektet Teknisk Framsyn (www.tekniskframsyn.nu). Rapporterna från detta projekt har bl.a. varit vägledande för den tidigare regeringens IT-strategi. Här följer en kort sammanfattning av den uppdaterade delrapporten från Teknisk Framsyn 2003 med titeln »Nytt, bättre och säkrare – IT i framtidssamhällets tjänst.» I denna rapport talade man om tre huvudinriktningar: den tekniska **konvergensen** mellan tele, data och media; den tekniska **integrationen** mellan olika media och att dessa kan behandlas tillsammans eller parallellt i samma system; den tekniska **transparensen** som gör tjänster ständigt tillgängliga.

Följande nyckelområden identifierades: Inbyggd IT överallt, Komplexa system, Gränssnitt, Arkitektur och infrastruktur, Upplevelseteknologi, Informationshantering, och Säkerhetsteknologi. En viktig poäng i denna rapport är att man tar fasta på integrationen av telekom och data. Teknologier kommer att finnas i båda områdena, och det är situationen som avgör hur de kommer att användas. Det kan vara intressant att se att de områden som lyftes fram av den föregående omgången av Teknisk Framsyn från 1999 fortfarande är relevanta: ständigt uppkopplade; den digitala assistenten – intelligenta och adaptiva system; alltmer blir mjukvara i framtiden; framtidens tjänster är elektroniska; ständigt och omedelbart lärande; de tekniska och biologiska världarna möts; säkerhet och integritet. Detta sätter också den här typen av analyser och rapporter i ett tidsperspektiv: det kommer ständigt nya teknologier men för flera av dem tar det ganska långt tid att nå industri och konsument i full utsträckning.

I linje med rapporten från Tekniska Framsyn och flera senare utländska översikter över nutid och framtid är den genomgående trenden att den digitala världen håller på att flyta



Johan, 28. Halkade in i kemi-industrin på ett bananskäl, men nu kan han inte tänka sig att jobba med något annat.

ihop med artefakterna i världen utanför. Datorerna finns överallt samtidigt som de blir alltmer osynliga. Detta möjliggörs genom utökade nätverk med enorm bandbredd och sensorteknologi. En annan trend är att världens datamängder växer dramatiskt bland annat beroende på just integrationen av den fysiska, virtuella och mänskliga världen, samt radikalt sjunkande priser på lagringsmedia. Detta medför⁶ ett allt större behov av informations-tröskor (som plockar upp den relevanta informationen från det totala informationsbruset) samt nya möjligheter för forskning och utbildning genom t.ex. förbättrade sökteknologier, mönsterigenkänningsalgoritmer och datavaskning (data mining) samt program som hanterar all information åt användarna, t.ex. i form av beslutsstöd som kan leverera en uppdaterad och samlad lägesbild baserat på stora mängder av skilda slag av data automatiskt insamlade via sensorer och instrument eller producerade av människor i form av bild, ljud och text.

2.4.1 Sammansmältning av det fysiska och det digitala

Digital information och mjukvara lämnar delvis datorerna på skrivborden och flyttar ut i våra fysiska omgivningar: mobila enheter, byggnader och offentliga rum. Utvecklingen inom telekommunikation, sensorteknologi, materialvetenskap och andra områden medför att fysiska ting och platser allt oftare innehåller beräkningskapacitet, lagringsutrymme och kommunikationsmöjligheter för digital information. Digitala produkter och tjänster kan vara små som sandkorn eller stora som städer; de finns allt oftare omkring oss som en integrerad del av vardagsliv och arbetsliv.

Den fysiska/digitala sammansmältningen medför stora utmaningar för forskning och utveckling inom IKST(m). Mobila enheter i tillfälliga, heterogena konfigurationer ställer nya krav på nätverksmekanismer och kommunikationsprotokoll. Produkternas dubbla fysiska/digitala natur kräver nyskapande sensorteknik, arkitektur och material. Ur användarnas och samhällets synvinkel väcks många viktiga frågor både kring tillgänglighet, nytta, trygghet och andra mervärden och kring personlig integritet, säkerhet och olika potentiella hot.⁷

Viktiga områden här är Nät, Radio, Sensorteknik och sensornät, samt Inbyggda och autonoma system.

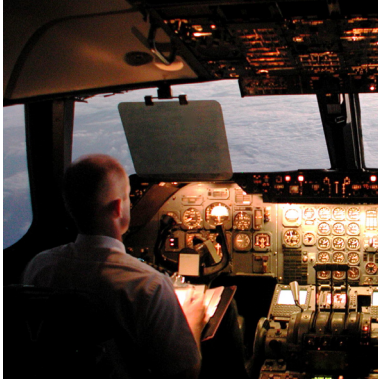
2.4.2 Billigare minnen och sensorer – mer data

Allt fler discipliner och verksamheter brottas med växande datamängder. Dagens verktyg är ofta fortfarande utvecklade för manuellt insamlade data, åtminstone inom samhällsvetenskaperna och humaniora. När datainsamlingen i stället sker automatiskt med t.ex. olika slag av sensorteknik ställs det helt nya krav på analysverktygen, något som gäller alltfler discipliner, t.ex. biologi och andra discipliner som traditionellt sätt har varit ganska icke-tekniska, t.ex. beteendevetenskap, där användning av så kallade biosensorer som mäter blodtryck, hjärnvågor osv. idag är högst tillämpligt. Vidare görs alltfler databaser tillgängliga via Internet. Hur detta kommer att påverka den vetenskapliga utvecklingen när traditionellt mer mjuka områden blir mer storskaligt empiriska är svårt att förutsäga. Säkert däremot är att detta sker nu.

Ytterligare en källa till riktigt stora datamängder är de storskaliga simuleringar, som kan göras inom alla discipliner med en matematisk beskrivning. Just storskaligheten i datainsamlingen gör datamängderna svåra eller rentav omöjliga att överblicka, analysera, och visualisera utan datorns hjälp.

6. Science & Technology Cluster: Overview of key trends up to 2015–2020. Åtta dokument publicerade 2006 av brittiska Office of Science and Innovation.

7. Office of Science and Innovation, *ibid*.



Bengt, 52. Har flugit halva sitt liv, och tycker att det bara blir lättare och roligare.

En teknologi som kan användas tillsammans med sensorer är RFID-taggar. RFID betyder Radio-Frequency IDentification. Dessa innehåller åtminstone två delar: en krets för lagring och processning av data samt en antenn för att sända och ta emot radiosignaler. Det finns RFID-taggar som inte har en egen strömkälla (passiva); det finns också aktiva som har någon form av strömförsörjning. De aktiva är mer tillförlitliga och har en räckvidd på åtminstone flera hundra meter. Dessa fungerar också bättre i krävande miljöer, där det krävs mer energi för att hantera själva radiosignalen.

RFID-taggar kan placeras på (eller i) människor och djur, och på metall, i gods m.m. Det gör att de kan användas för kontroll och övervakning. Om de kopplas ihop med sensorer kan ytterligare effekter nås, och stort antal parametrar kan enkelt avläsas på distans. Med deras hjälp kan vi ofta följa våra försändelsers väg från utlandet.

Vilken påverkan kommer sensorteknik och sensornät att få på olika tillämpningsområden och vetenskaper? Det har redan antytts att tekniken kan användas på många sätt, och förmodligen har vi bara sett början på en dramatisk utveckling. I takt med att sensorer och RFID-taggar sjunker radikalt i pris kommer vi att få se dem i allt fler tillämpningar och produkter. Det finns flera integritetsproblem med tekniken men också många oanade möjligheter.

De allt större datamängder som de komplexa systemen själva producerar, liksom de som människor allt mer producerar i form av bild, ljud och text, leder till nya möjligheter och utmaningar både när det gäller att utveckla system och att på ett effektivt sätt underhålla och driva dessa. Kan vi kanske t.ex. bygga system som på ett robust sätt lär av tidigare erfarenheter och misstag?

Att program och lagringsformat snabbt blir »föråldrade» är ett stort problem som måste hanteras på ett mer seriöst sätt än nu.⁸ Att dessutom program, databaser, operativsystem och filformat i många fall inte kan »prata med varandra» hindrar utvecklingen. Open Source driver på utvecklingen genom att begränsa antalet parallellutvecklingsprojekt.

Viktiga områden här är Systemarkitektur, Inbyggda och autonoma system, Sensorsystem, samt Informationssystem och databasteknik.

2.4.3 Hur kommer vi åt kunskapen som finns lagrad i de enorma datamängderna?

Mängden data som produceras i det moderna samhället ökar exponentiellt. Datastorlekarna från enskilda vetenskapliga experiment och simuleringar har rört sig snabbt från Gigabyte till Terabyte och nu även Petabyte (10^{15} tecken). Vetenskap handlar idag i mycket stor omfattning om insamling, organisering och transformering av information i syftet att både reducera och integrera data för att möjliggöra extraktion av kunskap och understödja upptäckter. Exempel på behovet av avancerad dataanalys finns därför inom samtliga vetenskapliga områden och näringslivsgrenar. Aktuella exempel utgörs av: behovet av att fusionera och analysera sensordata inom processindustrin, sökningar och mönstermatchningar inom bioinformatik, analys av simuleringar och mätningar inom klimat- och miljöområdet, och hanteringar av diagnostiska data inom hälso- och sjukvård.

För att möta morgondagens utmaningar inom området krävs det nya och alltmer sofistikerade verktyg för att analysera de genererade datamängderna. Dessa verktyg bygger till stor del på följande grundkomponenter: matematisk modellering, knowledge discovery och datavaskning (data mining), samt visualisering. Med inträdet av flera nya grupper av

8. PITAC, *ibid.*



Jenny, 23. »Om inte Myspace hade funnits hade jag aldrig fått spela på Mejeriet.»

användare som inte i samma utsträckning är matematiskt skolade som teknik- och naturvetare blir interaktionsdesign allt viktigare.

I en rapport från amerikanska DARPA⁹ hävdar man att dagens datorer är mycket bra på lågnivåbearbetning av rådata och numeriska beräkningar, men att det fortfarande är svårt att utforma system som kan tolka och bedöma informationen samt resonera om den. Om man inte satsar på system som kan lära sig av erfarenhet eller instruktioner är vi dömda att misslyckas, och systemen kommer att återupprepa samma misstag gång på gång. I PITAC-rapporten om beräkningsteknik hävdar man vidare att på många håll används fortfarande programmeringsspråken Fortran och C i beräkningstekniska tillämpningar och på det här området borde det finnas utrymme för innovation.¹⁰

Detta område anses samstämmigt ha en stor potential och organisationer som t.ex. amerikanska National Science Foundation hävdar att satsningar på detta är absolut nödvändiga.

Viktiga områden här är Simulering och beräkningsteknik, Knowledge discovery och visualisering, Interaktionsdesign, samt Informationssystem- och databasteknik.

2.4.4 Komplexiteten i systemen ökar dramatiskt

Komplexiteten i parallella, nätverksbaserade plattformar och distribuerade system ökar dramatiskt. Kanske är den största utmaningen att utveckla mjukvara som är skalbar på alla hårdvarunivåer (processor, nod, och system). Att också integrera olika skilda kompetenser när programmen utvecklas anser flera omvärldsanalytiker vara ytterst viktigt. Systembygge är i mångt och mycket en interdisciplinär verksamhet. Alltifrån algoritmspecialister till interaktionsdesigner måste samarbeta när nyskapande produkter skall tas fram.¹¹

Utvecklarna har fram till idag kunnat bygga in mer och mer funktionalitet i våra system utan att systemens totalprestanda har påverkats. Med datorindustrins plötsliga paradigmskifte mot s.k. multi-core processorer, d.v.s. flera processorer på samma chip, har detta gratisåkande abrupt tagit slut.¹² Utformning av framtida system, så att de drar nytta av prestanda hos dessa flerkärniga mikroprocessorer, kommer att utgöra en mycket stor utmaning. Om den senaste stora revolutionen inom programutveckling var objektorienterade programmeringsspråk så är detta sannolikt nästa. Inte minst viktig är den mentala omställningen för programmerarna som måste ställa om från ett sekventiellt instruktionsflöde till ett parallellt och multi-trådat synsätt.

Viktiga områden här är Systemteknik, Programvaruteknik samt Systemarkitektur.

2.4.5 Från skräddarsydda arbetsverktyg till konsumentprodukter på massmarknader

Då webben fick sitt första grafiska gränssnitt i och med HTML 1.0 inleddes en ny era för digitala produkter och tjänster. På de senaste tretton åren har vi gått från en situation där datorer och dataprogram huvudsakligen användes som skräddarsydda arbetsverktyg för ökad affärsnytta, till en massmarknad där digitala produkter och tjänster huvudsakligen köps och används av människor för att de vill ha dem. Personlig kommunikation, underhållning, mediekonsumtion, shopping, spel och lek är bara några exempel på de digitala produkternas nya användningsområden.

Utvecklingen från nyttiga arbetsredskap till åtråvärda konsumenterbjudanden, och de nya möjligheter till ekonomisk tillväxt som därmed öppnas, har också betydande konsekvenser för vilka digitala produkter och tjänster som utvecklas och hur de utvecklas. Hur

9. Defense Advanced Projects Agency, Strategic Plan, februari 2007.

10. Fortran är ett 50 år gammalt programmeringsspråk, och C har funnits i 35 år.

11. PITAC, Computational Science, ibid.

12. Sutter, H. (2005). The free lunch is over: A fundamental turn toward concurrency in software. Dr. Dobbs's Journal 30(3).



Erik, 63 och Vanja, 59. »Fungerar bra att deklarerat på Internet. Det borde de ha börjat med för länge sedan.»

gör man produkter som folk vill ha och väljer framför konkurrerande produkter? Eller, ännu bättre, hur gör man produkter som folk inte visste att de ville ha men som de inte kan klara sig utan när de sett sina vänner visa upp dem? Vad skiljer en attraktiv tjänst från en adekvat tjänst?

För området IKST(m) handlar det om att integrera den befintliga ingenjörsvetenskapliga modellen för FoU med andra områden som beteendevetenskap, medievetenskap, ekonomi och design där relevant kunskap och användbara arbetsmetoder finns för att hantera tyngdpunktsförskjutningen från arbetsverktyg till konsumentprodukter.

Det viktiga området här är Interaktionsdesign.

2.4.6 Individ och samhälle: hälsa, säkerhet och integritet

IT och hälsa är ett område där man t.ex. i Pitac-rapporten

»Revolutionizing Health Care Through Information Technology» ser en enorm potential att göra besparingar och förbättra verksamheten med IKST. Man pekar ut tre kärnområden där IT kan göra stor direkt nytta genom att reducera antalet fel och kostnader samt ge en högre vårdkvalitet: Elektroniska journalsystem som ger såväl patient som vårdgivare all nödvändig information, datorbaserade beslutstöd som används kliniskt och datorbaserad orderhantering av medicin, medicinska verktyg och medicinska tester. För att detta skall fungera krävs satsningar på säkerhet, utveckling av mycket specifika standarder för ny datainsamling samt hantering av data som inte är standardiserad, t.ex. text i journaler.

Områden som blir alltmer viktiga för att stödja denna utveckling är Knowledge discovery och visualisering, Informationssystem- och databasteknik, Systemteknik, Programvaruteknik samt Interaktionsdesign.

På systemnivå finns sannolikt betydande möjligheter till ytterligare effektivisering av vårdsektorn. Svenska sjukhus har för många olika journal- och andra system. Kommunikationen mellan vårdgivare och vårdtagare skulle kunna moderniseras. Evidensbaserad medicin skulle kunna få en större roll.

En svensk paradgren är fysisk säkerhet, kanske främst genom Volvos och Autolivs ledande ställning på fordonssidan inom detta område. ABS, antisladdsystem, krockkuddar, kollisionssvarningar m.m är helt beroende av datorstyrning. I USA oroar man sig mer för digital säkerhet, och hävdar att det behövs kraftfulla insatser om man framgent skall kunna utnyttja alla fördelar som ökad IT-användning ger. Det är också så att dessa satsningar måste komma på den civila sidan trots att det är militären som är mest beroende av hög säkerhet. Detta beror på att militär och annan känslig verksamhet numera blivit starkt beroende av kommersiell programvara.¹³ I Japan ser man framför sig ett ständigt närvarande nät med en rad tjänster och möjligheter som inbegriper i stort sett all aktivitet i samhället.¹⁴ Det kräver ett stort säkerhetstänkande om inte möjligheterna med allstädes närvarande system skall äventyras. Säkerhet för såväl människor som data, övervakning och personlig integritet är områden som lyser igenom både som problem och möjligheter i de flesta omvärldsanalyser. En stor utmaning ligger dessutom i att systemen måste kunna leverera specifierad funktionalitet även när de attackeras av illvilliga.

13. *Cyber security: A crisis of prioritization.* PITAC, 2005.

14. Göthenberg, A. (2007). *Japans IT-strategi för 2010: Ett ubiquitous nätverkssamhälle. Tillväxtpolitisk utblick, nr. 2.*

2.4.7 Satsningar på IKST-forskning på EU-nivå

EU agerar allt kraftfullare inom IKST-området. Varje nytt ramprogram allokera ytterligare medel.

I det sjätte ramprogrammet har europeisk industri och akademi arbetat med ett antal stora plattformar, såsom eMobility (avseende framtida mobilsystem), ARTEMIS (inbyggda system) och Prevent (elektronik och program i fordon för att undvika olyckor). I det sjunde ramprogrammet för IKT med utlysningar under 2007 och 2008 satsar EU-kommisionen på följande sju områden:

Morgondagens nät (Pervasive and Trusted Network and Service Infrastructures), ett område där Europa står sig väl, men där nya satsningar måste göras för att få bort en rad flaskhalsar som bristande skalbarhet, begränsad flexibilitet, beroenden och säkerhetsbrister. Framtidens infrastruktur måste vara ständigt tillgänglig, och mycket dynamisk. Näten måste också garantera robusthet, tilltro och säkerhet för att hantera en väsentligt högre komplexitet och storlek än dagens mjukvarutjänster.

Smartare maskiner och bättre tjänster (Cognitive Systems, Interaction, Robotics) handlar om att hantera ett allt komplexare samhälle och ekonomi. Det gäller t.ex. att få systemen att interagera med den verkliga världen bättre än idag, och få dem att klara även situationer där förprogrammerad kunskap saknas. Tillämpningsområden för smartare robotar och maskiner som speciellt pekas ut är industriell produktion, utbildningssektorn, hälsovård, allmänhetens säkerhet, miljöövervakning samt servicerobotar.

Elektronik för transport/fordon, telekom, konsumentelektronik och medicinsk teknik (Components, Systems, Engineering) fokuserar på elektronikkomponenter och deras integration i intelligenta system. Detta anses vara en nyckelfaktor för att skapa nya tillämpningar inom hälsoområdet, fysisk och digital säkerhet, transportsektorn, och för att få fram miljömässigt hållbara produkter.

Digitalt innehåll och lärande (Digital Libraries and Content) handlar om att stödja individer och organisationer dels med att hantera informationsflödet och dess innehåll, dels att stödja kunskapsprocesser och färdigheter. Digitalt innehåll skall göras tillgängligt via digitala bibliotek och dess långsiktiga lagring måste tillgodoseas. Vidare måste stöd för att upptäcka, fånga in och distribuera kunskap utvecklas, allt med syftet att öka individens lärande.

eHälsa (Towards Sustainable and Personalised Healthcare) är ett område som man ser växa fram som en ny viktig industri i en alltmer kostnadskrävande och informationsintensiv hälsovård. IKT kan bl a bidra med att utveckla sjukdomsprevention och vårdssäkerhet, förenkla för patienters deltagande i den egna vården samt möjliggöra ökad individualisering av denna. Nya möjligheter inom modellering, simulering och bildbehandling inom biomedicinområdet ger tillsammans med kunskapen om sjukdomar från molekyl- till organ-nivå upphov till radikala förbättringar av hälsovården. Den forskning som skall få stöd inom denna sektor måste vara mycket tvärvetenskaplig.

Miljö, energi och transporter (ICT for Mobility, Environmental Sustainability and Energy Efficiency) handlar om satsningar på säkrare och effektivare system för transporter av såväl människor som gods. Syftet är att utveckla Europas kapacitet för hållbar tillväxt. IKT-forskning behövs här för att skapa effektivare transporter, bättre energianvändning, och mer kontrollerad och livscykel-orienterad naturresurshushållning.

Digital tillgänglighet för alla (ICT for Independent Living and Inclusion) handlar om att integrera människor i kunskapssamhället. Utmaningar ligger i en åldrande befolkning, och samtidigt en minskande arbetsför befolkning. Detta kräver ett mångvetenskapligt och användarcentrerat angreppssätt.

I det sjunde ramprogrammet har även vad man kallar »i2010 Flagship Initiatives», vilka är satsningar med ett mer praktiskt perspektiv än traditionell forskning. Satsningarna

skall förbättra livskvaliteten för Europas invånare. Dessa är: Ett europeiskt digital bibliotek för att göra Europas kulturella och vetenskapliga skatter mer intressanta att arbeta med online, och med fokus på arbete, nöje och studier. Intelligent bilar som handlar om att med hjälp av IKT skapa smartare, säkrare och renare fordon. IKT för ett självständigare liv i ett åldrande samhälle skall ge äldre fler IKT-verktyg för att möjliggöra ett mer självständigt liv, förenkla äldres egenvård samt underlätta äldres mobilitet i samhället. IKT för hållbar utveckling handlar om att utnyttja IKT för att hantera den ohållbara utveckling som pågår som underminerar tillväxt och försämrar livskvaliteten för alla européer.

I det sjunde ramprogrammet satsar man också på mer riskfyllda framtidsorienterade men långsiktiga projekt kallade »Future and Emerging Technologies.» Nyckelområden här är: kvantteknologier och bio-IT; teknologier bortom integrerade kretsar; förändringsbara IKT-system med avseende på systemens egen förmåga till tillväxt, utveckling och underhåll; IKT som förändrande kraft i samhället; pålitliga och uthålliga IKT-system i en helt annan utsträckning av vad dagens system klarar; informationsbehandlingen i biologiska system för att utveckla nya perspektiv inom IKT; smarta maskiner, t.ex. robotar; sammanmältningen av den digitala och den verkliga världen genom mer grundläggande forskning om mänsklig kognition och mänskligt beteende i den allt tätare människa-maskininteraktionen.

2.4.8 Landsspecifika trender

Utanför Europa är det enklast att skaffa sig en lägesbild av IKST-strategin i USA. Ett flertal stora amerikanska organisationer såsom NSF, DARPA och »President's Information Technology Advisory Committee» (PITAC) lägger helt öppet ut sina strategiplaner. En redovisning av dessa organisationers IT-strategier har gjorts löpande i detta kapitel. Dessa organisationer är ganska samstämmiga även om t.ex. DARPA har militärt fokus. DARPA har dock tidigare lämnat starka civila bidrag t.ex. till utvecklingen av Internet. Det finns inte i dessa rapporter några radikala skillnader mot dem som kommer från EU. Samstämmigheten är stor, även om EU är mer inriktat på att göra strategiska satsningar.

Vad händer i Japan? Japan är ganska unikt i världen med sina satsningar på humanoida robotar, dvs. robotar som liknar och rör sig som människor. Detta har delvis demografiska orsaker – Japans befolkning kommer att kraftigt minska under överskådlig framtid. Man ser robotar som en möjlig lösning på detta problem inom t.ex. sjukvård och service. Ett annat stort satsningsområde i Japan är av vad man kan kalla ett »ubiquitous nätverkssamhälle» som bygger på säker kommunikation mellan människor och artefakter, och mellan artefakter och artefakter, överallt och för alla typer av ändamål. Detta nätverkssamhälle anses ha potential att öka tillväxt och innovation genom en förnyelse av de sociala och ekonomiska systemen.¹⁵ Syd-Korea gör också liknande satsningar, och ligger i framkanten vad det gäller bredband, digitalt innehåll, »ubiquitous nätverkssamhälle» och robotik, med till exempel målsättningar som en robot i varje hem.

Indien har blivit en viktig aktör inom administrativ databehandling. Men ännu viktigare roller spelar sannolikt alla de indier som idag arbetar kvar i främst USA efter sina studier, både inom de teknikdrivande företagen och inom akademien. Indien har en stor och växande IKST-industri och från ett svenskt perspektiv är denna en mycket kompetent underleverantör till svensk systemutveckling.

Kina är redan världens ledande tillverkarland och har höga ambitioner att utveckla sin FoU-verksamhet. En delegation av amerikanska datavetenskapliga experter sökte under NSF-stödd resa till Kina 2006 svaret på frågan om inriktningen inom Kinas högre utbildning och forskning. Enligt denna delegations rapport¹⁶ har kinesiska forskare vid universiteten ett tydlig systemfokus samt en inriktning mot praktiska tillämpningar. Man såg mindre av datavetenskapens fundamenta som forskning om algoritmer, formella metoder,

15. Göthenberg, *ibid.*

16. *Report to National Science Foundation: Insightful understanding of China's higher education and research in computer science and information technology. US Senior Computer Scientists Delegation Visit to China, 2006.*

programmeringsspråk, systemarkitektur eller AI. Mycket av universitetsforskningen i Kina är uppdragsdriven, då den är mycket viktig för hela Kinas teknologiska utveckling.

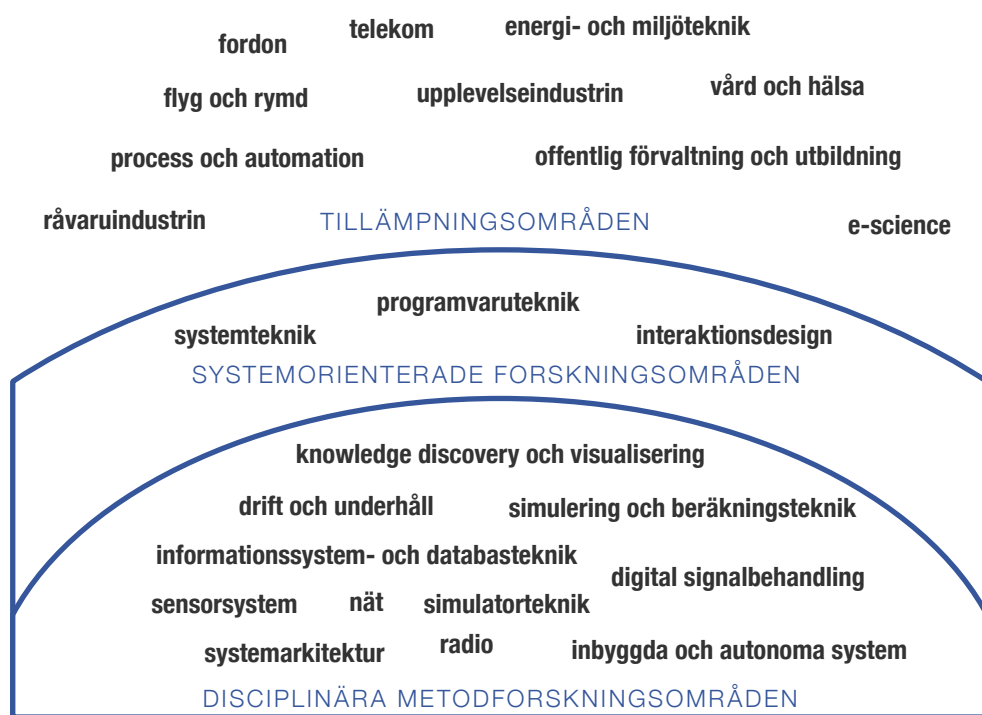
3. Från tillämpningsområden till forskning om komplexa system

Det finns olika verktyg man kan använda för att nå fram till vilka forskningsprioriteringar som skall göras inom området. De verktyg som panelen har använt för att prioritera området är baserade på framförallt panelens egna diskussioner med utgångspunkt i nutid och framtid, i industrirelevans och akademisk forskningsfront, i samhällelig nytta och ifrån en omvärldsanalys samt hearingar med representanter från industri och akademi.

I ett tidigt skede i panelens arbete identifierades att det som framförallt krävs av framtida svenska forskningssatsningar är ett ökat samspel mellan strategiska tillämpningsområden, systemorienterad forskning samt disciplinära metodforskningsområden. Detta gjordes med bakgrund mot den redan rådande systemorienteringen i många branscher samt det starkt framväxande systemperspektivet i många nya. De nödvändiga sambanden mellan de olika områdena illustreras förenklat med figur 1. Figuren visar att de disciplinära metodforskningsområdena skall i samspel med systemorienterad forskning bidra till utveckling inom ett antal tillämpningsområden.

Panelens viktigaste arbetsverktyg har varit en karta över IKST(m) och dess skärningspunkter med tillämpningsområden. Under processens gång har denna karta blivit mer och mer koncentrerad. Områden i utkanten har valts bort och strategiska skärningspunkter mellan forskningsområden och tillämpningsområden har vuxit fram. Kartan har slutligen tagit form av en tabell där viktiga skärningspunkter mellan disciplinär metodforskningsområden och tillämpningsområden åskådliggörs. Tabellen skall dock inte ses som någon absolut sanning över svensk forskning inom IKST(m) och dess koppling till olika tillämpningsområden. Tabellen ger en fingervisning om strategiska möten mellan industri, samhälle och disciplinär forskning ur panelens begränsade synvinkel.

Figur 1. Systemorienterade forskningsområden spänner över flera disciplinära FoU-områden.



I urvalet av tillämpningsområden har panelen delvis utgått ifrån de industrier som ansågs vara svenska nyckelbranscher av den förra regeringens utredare¹⁷ samt de branscher, här kallade tillämpningsområden, där IKST(m) redan spelar en stor roll samt kommer att göra det i framtiden. Dessa utpekade nyckelbranscher var IT- och telekombranschen, Skog- och träindustrin, Fordonsindustrin, Metallurgiindustrin, Flyg- och rymdindustrin samt Läkemedels-, bioteknik och medicinteknikindustrin. Tillsammans stod de år 2005 för ca 550 miljarder i exportinkomster.

Vi har kommit fram till att följande tillämpningsområden för IKST-mjukvara är viktiga och starka i Sverige i nuläget: **Telekom, Fordon, Process och automation, Råvaror** (gruv- och skogsindustrin), samt **Flyg och rymd**.

När det gäller framtida satsningar bedömer panelen att dessa fem områden kommer att vara fortsatt viktiga för Sverige, och att det därför är mycket angeläget att stärka dessa genom ökad IKST-forskning där industrins behov finns. Panelen ser vidare nya möjligheter i en starkt framväxande **Upplevelseindustri**, användning av IKST för att stödja **Energi- och miljöteknik, Vård och hälsa** samt **Offentlig förvaltning och utbildning**. För att stärka svensk forskning generellt ser vi också satsningar på en utveckling för att stödja **eScience** (se nedan) som ytterst viktiga. Utvecklingen av eScience är även viktig för produktions- och läkemedelsindustrin. eScience skiljer sig mot de andra tillämpningsområden genom att området i hög grad riktar sig mot den forskning som bedrivs inom akademi och industri. Emellertid kommer eScience i förlängningen att starkt bidra till förbättringar i den högre utbildningen.

De prioriteringar som här har presenterats stämmer väl med vad andra länder och t.ex. EU satsar på, men vi har i vårt analysarbete försökt att särskilt lyfta fram och prioritera de svenska styrkeområdena samt identifiera de som ökar i betydelse för en stark utveckling av svensk industri och samhälle.

Panelen har identifierat följande forskningsområden som väsentliga för att öka nyttan av IKST(m) inom tillämpningsområdena samt som nödvändiga kandidater för att bemöta de frågor som utvecklingen mot alltmer komplexa system genererar.

- Nät
- Inbyggda och autonoma system
- Systemarkitektur
- Radio
- Digital signalbehandling
- Sensorsystem
- Simulorteknik
- Simulering och beräkningsteknik
- Knowledge discovery och visualisering
- Informationssystem- och databasteknik
- Drift och underhåll.

17. Strategiprogram för nyckelbranscher. <http://www.regeringen.se/sb/d/2954/a/45823>

I den fortsatta texten kommer nödvändigheten av ett ökat fokus på de systemorienterade forskningsområdena **systemteknik, programvaruteknik** och **interaktionsdesign** ytterligare att belysas.

Tabell 1. Panelens syn på förutsättningar för disciplinära FoU-områden i Sverige och deras potential för viktiga svenska tillämpningsområden.

	TELEKOM	FORDON	PROCESS	RÅVAROR	FLYG och RYMD	UPPLEV-ELSE	ENERGI och MILJÖ	VÅRD och HÄLSA	OFFENTLIG FÖRVALTN och UTB
NÄT	●	●	●	●	●	●	●	●	●
INBYGGDA och AUTONOMA SYSTEM	●	●	●	●	●	●	●	●	○
SYSTEMARKITEKTUR	●	●	●	●	●	●	●	●	●
RADIO	●	●	●	●	●	●	●	●	●
DIGITAL SIGNALBEHANDLING	●	●	●	●	●	●	●	●	●
SENSORSYSTEM	●	●	●	●	●	●	●	●	●
SIMULATORTEKNIK	●	●	●	●	●	●	●	●	○
SIMULERING och BERÄKNINGSTEKNIK	●	●	●	●	●	●	●	●	○
KNOWLEDGE DISCOVERY och VISUALISERING	●	●	●	●	●	●	●	●	●
INFORMATIONSSYSTEM- och DATABASTEKNIK	●	●	●	●	●	●	●	●	●
DRIFT och UNDERHÅLL	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Förutsättningar för en FoU-satsning i Sverige och potential för resultat: ● God ● Genomsnittlig ○ Mindre god

3.1 FOKUS PÅ FORSKNING OM KOMPLEXA SYSTEM

Gemensamt för flera svenska framgångsbranscher som t.ex. telekom- och fordonsindustri är att dessa i mångt och mycket är baserade på stora komplexa system. Det handlar om att hantera och utveckla mjukvaruutveckling, drift och underhåll av dessa. Vad har gjort Sverige bra på detta? Hur behåller vi ledningen?

Man behöver inte rita en så speciellt stor karta över ett system för att tappa greppet om det när varje nod i systemet i sig är ett komplext system, t.ex. en personator eller mobiltelefon. Om en vanlig bil innehåller fler än 50 processorer, står i kontakt med satelliter i rymden, inhämtar väder och trafikinformation via mobilnätet, håller kontroll över förare, fordonet och andra fordon och objekt i fordonets närhet med avancerade sensorsystem blir det ett nätverk av system som är mycket svårt att överblicka. Till detta kommer att en och samma leverantör inte ensam kan ansvara för alla delar i system. En fordonstillverkare kan t.ex. inte också driva satelliter för att säkerställa att navigeringssystem som hjälper föraren att hitta vägen fungerar.

Vi lever i värld med allt fler komplexa, större och distribuerade IT-system, omöjliga för en person att kontrollera och överblicka. Typiskt är att det inte finns fullständiga modeller av hur programvara beter sig i målmiljön.¹⁸ Detta beror till stor del på avsaknaden av fysikaliska lagar för hur system beter sig. Tekniska system har fel och brister, och metoden för att bemöta detta är med småfixar (s.k. patchar). det är en stor fördel med programvara att fel kan fixas och en ny rättad version laddas upp till målsystemet utan att målmiljön nämnvärt påverkas. Resultatet blir dock så småningom »sönder-patchade» system vars funktioner på olika sätt försämrats. Upprepade småfixar som distribueras till många olika kunder leder också till att många revisioner av programvaran kommer att vara i drift samtidigt om än på olika ställen. Att veta vad man har distribuerat och vilka versioner som är aktuella, samt att eventuella rättningar inte skadar redan befintlig funktionalitet kräver en ganska omfattande hantering.

Systemteknikområdet lider i viss mån av den klassiska vetenskapliga metoden att dela helheter i element som analyseras separat. Man kommer inte åt vattnets brandsläcknings-egenskaper genom att studera dess element och komma fram till att väte brinner, och att

18. Målmiljö: där programvaran exekverar och utför sitt uppdrag. Till exempel kan en bil vara målmiljö för styrsystemets programvara.

syre hjälper elden att brinna.¹⁹ Det är helheten som måste studeras för att vi skall få en förståelse av hela systemet.

Det kan uppstå ett akademiskt dilemma när flera doktorander forskar om samma system. Det blir lätt så att man då väljer en komponentorientering för att kunna hålla reda på vem som gjorde vad. Vi vill hävda att denna problematik måste akademien lära sig att hantera illa kvickt om nödvändig och föreslagen forskning skall kunna utföras.

Panelens rekommendation är att samtliga framtida projekt oavsett ämnesområde skall ramas in av tre systemområden: Systemteknik, Programvaruteknik och Interaktionsdesign (se även Figur 1).

Systemteknik (eng. Systems design/Systems engineering) är den överordnande ingenjörsci- disciplinen som handlar om att utveckla och integrera komplexa system. Någon etablerad svensk översättning av termen finns inte, men systemteknik är sannolikt det som kommer närmast. En viktig grundobservation är att när man sätter samman komponenter eller delsystem till en produkt så kommer produkten att ha egenskaper och innehålla funktioner som inte fanns hos de enskilda delarna. Eftersom det är dessa egenskaper och funktioner hos produkten som är viktiga för kunden så måste företaget hantera helheten och inte bara delarna. De traditionella ingenjörsci- disciplinerna och forskningsområdena är ofta inriktade på enskilda komponenter, egenskaper eller funktioner, men för ett företag som utvecklar en komplex produkt är systemteknik en central disciplin som kompletterar de övriga för att sätta samman dessa till en attraktiv helhet. I anslutning till området systemteknik har panelen identifierat ett nytt område med kraftigt ökad betydelse för svensk industri, kallat Drift och underhåll, se vidare nedan i områdesfördjupningarna.

Utvecklingen av komplexa system betraktas ofta som en svensk paradgren, och det finns en lång tradition som har lett till att olika företag har utvecklat pragmatiska metoder för systemteknik. Ofta anses den svenska konsensuskulturen ha bidragit till framgångarna, då den främjar angreppssätt som går ut på systematisk och objektiv utvärdering av olika alternativ och balansering mellan dessa. Troligen har den historiskt nära samverkan som funnits mellan framsynta myndigheter, som ställt tydliga krav, och kompetenta företag, som utvecklat komplexa system också främjat denna utveckling, t ex på flygsidan mellan FMV och Saab, inom telekommunikation mellan Televerket och Ericsson och inom energi- området mellan Vattenfall och Asea. Dessa nära relationer är numera inte lika uttalade och många företag har också blivit mer internationella i sin utvecklingsverksamhet.

Programvaruteknik (eng. Software engineering), kan ses som ett specialfall av system- teknik genom att det fortfarande handlar om design av system men där alla ingående komponenter består av mjukvara. Software engineering är den disciplin inom produkt- utveckling av programvaru- intensiva system som syftar till att förbättra hur man tar fram programvara på ett effektivt och professionellt sätt. Inom software engineering fokuserar man på de delar av utvecklingen som är speciellt relaterade till programvara. Eftersom programvara inte följer några fysikaliska lagar kan man inte direkt tillämpa de klassiska ingenjörsci- metoderna rakt av.

Målet med mycket av forskningen inom programvaruteknik är att det ska gå att produ- cera programvara med förutbestämda egenskaper såsom tillförlitlighet, underhållbarhet, prestanda och testbarhet. Dessa egenskaper kallas i sammanhanget för kvalitetsattribut och är i viss mån komplementära till de funktionella kraven som ställs på en produkt. Typiskt är att det inte finns fullständiga modeller av hur programvara beter sig, detta beror till stor del på den tidigare nämnda avsaknaden av fysikaliska lagar. Utan ett strukturerat tillvägagångssätt för att utveckla programvara (software engineering), tenderar utvecklar- teamen att fokusera på de funktionella kraven och implementera dessa till belåtenhet.

19. Vygotsky, L.S. (1987). *The collected works of L.S. Vygotsky. Volume 1, Problems of general psychology. Including the volume Thinking and speech.* Reiber, R.W. och Carton, A.S. (red.). New York: Plenum Press.

Om de två första disciplinerna har en teknisk utgångspunkt så har den tredje disciplinen som vi har valt i vår inramning av hela området att ha ett mänskligt men också ett tekniskt fokus med utgångspunkt i användarnas krav, behov och lust när digitala artefakter och användargränssnitt designas. Denna disciplin kallas interaktionsdesign.

Interaktionsdesign betecknar utformning av digitala produkter och tjänster med särskilt fokus på användare och användning. Historiskt sett har intresset för användare och användning inom IKST(m) koncentrerats på de digitala produkternas nytta och på hur lätta de varit att använda effektivt och problemfritt. Forskning med ett sådant fokus har huvudsakligen växt fram inom det akademiska området människa-datorinteraktion, från slutet av 1970-talet och framåt.

Att FoU-intresset vid den tiden främst handlade om nytta och så kallad användbarhet hänger förstås ihop med att digitala produkter och tjänster under 1970- och 80-talen användes nästan uteslutande i väldefinierade arbetssituationer för att lösa bestämda uppgifter. De senaste tio-femton åren har dock inneburit en utveckling mot nya användningssituationer och nya drivkrafter. Beakta exempel som webben, mobila tjänster, digitala konsumentprodukter, eller varför inte digital-teve. Här handlar det om användning som användaren självant väljer, och situationer där det nästan alltid finns flera alternativa erbjudanden. Användningen, upplevelsen eller köpbeslutet påverkas naturligtvis till viss del av produktens nytta och användbarhet, men ofta än mer av kvaliteter som tillfredsställelse, symbolvärde, åtråvärdhet och välbefinnande. Detta är i allt väsentligt de kvaliteter som de traditionella designdisciplinerna hanterar.

De tre områdena systemteknik, programvaruteknik och interaktionsdesign står i stark beroendeställning till varandra. Det ena blir så att säga meningslöst utan det andra. Har vi ingen hårdvara blir mjukvaran meningslös och tvärtom; designar vi inte för någon form av slutanvändare så kommer produkten knappast att ha någon chans på ett allt mer hårdnande marknad.

4. Disciplinära metodforskningsområden

I detta avsnitt ges ämnesfördjupningar i de av panelen utvalda metodforskningsområdena.

4.1 NÄT

FoU kring kommunikationsnät är intensiv över så gott som hela världen. Fokus är nästan uteslutande på paketförmedlande nät med syfte att utgöra grunden för kommande Internettillämpningar.

Nätforskningen kan indelas i arkitektur, protokoll, teknologier och egenskaper. Härtill kommer områden som går på tvären, av vilka det största nog är tjänstekvalitet (Quality of Service).

Klassiska telekomnät är ofta hierarkiskt uppbyggda och det gäller i stor utsträckning fortfarande mobilnäten. Internet har en mer maskformig **nätarkitektur** som inte är lika hårt standardiserad som t ex mobilnäten. På senare år har intresset för nya nätarkitekturer, under benämningar som ad hoc och mesh ökat markant, framförallt för accessnäten. FoU inom nätarkitektur syftar ofta till att uppnå förbättrade egenskaper.

För **nätprotokoll** ligger tyngdpunkten mer på utveckling än forskning, framförallt när det gäller vidareutvecklingen av Internet. Eftersom standardiseringen av Internet huvudsakligen sker på protokollnivå, och inte som för telekom avser arkitektur och gränssnitt, så har behovet fokuserats mycket på »running code» och »Interop test.» Protokollen på nivå tre och uppåt i OSI-modellen dominerar. Protokoll på lägre nivåer är mer teknologiberoende.

Ett stort och viktigt område är **nätteknologi** och speciellt avseende accessnät som ju ofta är mycket kostnadskritiska. Några viktiga teknologier med stor potential är:

- passiva optiska nät (PON)
- våglängdsmultiplexering (WDM) i optiska nät
- alltmer sofistikerade DSL-lösningar för kopparnät
- radioaccessnät med alla aspekter på delade, knappa resurser och interferens
- Ethernet som snabbt växer från accessnätet uppåt till förmedlingsnätet.

Ett näts **egenskaper** avgörs i huvudsak av arkitekturen, protokollimplementeringen och den valda teknologin. För nätforskningen är det viktigt att förstå hur dessa olika delar samverkar och hur man kan optimera nätets egenskaper. Beräkningar och simuleringar blir mycket viktiga verktyg för detta. För utvecklingen av noder och länkar i ett nät är egenskaperna naturligtvis centrala alltifrån att ställa rätt krav till att utvärdera att de önskade egenskaperna uppnås. Här är det av stor vikt att det finns en återkoppling från driftsatta nät till de som arbetar med egenskaps-FoU.

Det pågår mycket forskning och viss utveckling inom området tjänstekvalitet. Som forskningsområde är det mycket brett och kombinerar aspekter från alla hörn av nätforskningen. I praktiken, på utvecklingssidan, har dock problem med tjänstekvalitet i Internet oftast lösts med överdimensionering och många goda QoS-lösningar har inte realiserats. Här är det dock troligt att vi står inför ett skifte i och med IPTV och alla nya tillämpningar som bygger på strömmande »realtids»-information (underhållning) till användarna i kombination med att användarna själva producerar en stor del av materialet. Noterbart är att

P2P-tjänster, som kräver stor kapacitet i nätet men hittills knappast hög realtidskvalitet, nu kan komma i ett annat läge i och med P2P IPTV.

Sammanfattningsvis ligger tyngdpunkten inom nät på protokollen och teknologin, och att tjänstekvalitet blir allt viktigare.

Sverige är ett av de allra mest avancerade länderna. Här finns avancerade nät både för bredband, mobiltelefoni och mobilt Internet med mycket höga penetrationstal. Ett antal starka operatörer och såväl inhemska som utländska världsledande leverantörer t ex Ericsson och Nokia.

Andra avancerade länder använder i vissa fall andra standarder men för slutanvändarna är tillgänglighet och ekonomi avgörande faktorer. Sverige är dock en förhållandevis liten marknad och utvecklingen i stora länder som USA, Kina och Indien blir därför i många fall avgörande för teknikutvecklingen. I många länder ser vi en trend mot ökad avreglering samtidigt som standarder från IETF och 3GPP dominerar. En något ökad »diversifiering» är trolig liksom ett ökat antal »de facto» standarder, som varit mer karakteristiska för Internet-utvecklingen.

Den tekniska utvecklingen går snabbt och det är av stor vikt att Sverige inte tappar tättpositionen.

Ett väl fungerande kommunikationsnät är centralt för Sveriges konkurrenskraft. Den tekniska utvecklingen går snabbt och det är av stor vikt att Sverige inte tappar tättpositionen. Det är lika viktigt att implementera internationella standarder som att driva på utvecklingen av nya eller evolverade standarder för att få

väl fungerande lösningar till låg kostnad. Detta kräver avancerad forskning och utveckling inom landet. Mest oroande för tillfället är att antalet nyutexaminerade ingenjörer är lågt och verkar så förbli i åtskilliga år. Detta påverkar i sin tur forskningen på doktorandnivå.

4.2 INBYGGDA OCH AUTONOMA SYSTEM

Med **inbyggda system** avses datorsystem som är en integrerad del av en annan produkt, t ex en bil, ett flygplan, en industrirobot, eller en telefonväxel. En förkrossande majoritet av alla mikroprocessorer som produceras idag hamnar i inbyggda system, men är ofta osynliga för användarna. Dessa datorsystem utmärks av att de är konstruerade för en specifik uppgift, till skillnad från t ex persondatorer som är generella datorer som under sin livslängd kommer att utföra en stor mängd olika uppgifter. Eftersom inbyggda system är avsedda för en särskild uppgift, nämligen att utföra en del av den totala produktens funktioner, är kunderna sällan beredda att betala extra för en generell datorplattform. I stället väljer man elektroniklösningar som optimerar relationen mellan kostnader och prestanda-behov.

En annan utmärkande egenskap hos ett inbyggt system är att det ofta interagerar nära med den fysiska omgivningen i form av den produkt det är integrerat i. Detta märks både på funktionell nivå, genom att systemet måste exekvera i takt med det fysiska systemet, dvs. det är ett **realtidssystem**, men också på egenskapsnivå i och med att systemet måste fungera i en miljö som ofta är mindre gästvänlig än vad som gäller för andra typer av datorsystem. Tålighet mot värme, vibrationer, elektromagnetiska störningar, och andra faktorer kan spela stor roll vid utvecklingen och kräva utökad funktionalitet i mjukvaran för att hantera störningar och eventuellt bortfall av delfunktioner. Allt fler inbyggda system får också krav på sig att begränsa sin strömförbrukning. I många fall är systemets funktion att styra ett fysiskt system, och det inbyggda systemet implementerar då ett **reglersystem**. Inbyggnaden medför olika slag av begränsningar för systemet, t ex för dess storlek, som i sin tur kan leda till att man får plats med mindre hårdvaruresurser och därigenom tvingas optimera mjukvaran hårdare.

Ett **autonomt system** är ett inbyggt system som agerar självständigt utan kontinuerliga instruktioner och övervakning från en mänsklig användare. I allmänhet är inbyggda system per definition autonoma i viss utsträckning, men det finns gradskillnader. Enkla system är fixerade vid en fysisk apparat och mäter ett fåtal parametrar och försöker reglera detta till ett givet börvärde, medan andra, t ex obemannade flygande farkoster, rör sig fritt i en komplex miljö för att utföra ett bestämt uppdrag. Den senare typen av autonoma system måste kunna fatta intelligenta beslut baserat på stora mängder indata, och det krävs en mycket genomtänkt mjukvaruarkitektur för att organisera ett sådant inbyggt system som samtidigt förmår att exekvera i realtid.

Oavsett graden av intelligens krävs dock av de flesta inbyggda system att de kan agera korrekt under varierande omständigheter för att leverera maximal nytta för kunden och minimera driftsstörningar. Många system, t ex i bilar, flygplan och kärnkraftverk är **säkerhetskritiska**, där minsta misstag av systemet kan leda till omfattande skador på människor och egendom, och i andra exempel är kraven på driftssäkerhet enorma. För att möta dessa utmaningar innehåller många inbyggda system en omfattande funktionalitet för att diagnostisera fel, och definiera olika grader av degraderad funktionalitet. Många gånger behövs mer mjukvara för att hantera olika former av oönskade situationer än vad som krävs för systemets egentliga funktionalitet. Eftersom det är oönskat eller ibland till och med omöjligt att ta systemen ur drift för underhåll lägger man stor vikt vid kvalitets-säkring under utveckling, och omfattande analyser görs av realtidsegenskaper, feleffekter och liknande. Konsekvenserna av systemfel kan i andra sammanhang framför allt vara av ekonomisk natur (t ex telefonväxlar) eller påverka kvaliteten hos funktionerna negativt (t ex försämrad mottagning för mobiltelefoner).

Inom fordonsbranschen är den största delen av innovationerna baserad på funktioner i inbyggda system.

Området inbyggda system är av oerhörd vikt för svensk industri över hela landet och har avgörande betydelse för mycket ny funktionalitet. Inom fordonsbranschen är den största delen av innovationerna baserad på funktioner i inbyggda system. I takt med att ökade krav på användbarhet och intelligens, och i takt

med prisfallet på elektronik, kommer andelen produkter med inbyggda system att öka och sprida sig till nya branscher. I allt större utsträckning kommer de inbyggda systemen att utbyta information med varandra, via trådlösa nätverk, och detta ställer ännu större krav på kvalitetssäkring och förmågan att värdera information och anpassa beteendet i störningssituationer. Från att historiskt ha handlat mycket om hårdvara och hårdvarunära programmering, skiftar perspektivet och de inbyggda systemen blir allt mer programvarubaserade. Specialanpassad hårdvara används fortfarande, men i de flesta branscher går man allt mer emot standardisering även av en begränsad uppsättning hårdvaror.

Betydande forskning finns både på de stora lärosätena, t ex KTH, Linköpings universitet, Chalmers, Lunds Universitet och Luleå Tekniska Universitet, men även på många mindre högskolor, t ex Mälardalen, Skövde och Halmstad, där forskningen ofta bedrivs i nära samverkan med lokal industri. Kring högskolorna har också ett antal mindre företag etablerats som kommersialiserar forskningsresultat och kan erbjuda viktiga komponenter i hård- och mjukvara för inbyggda system. En viktig drivkraft inom forskningen om inbyggda system i landet har varit ARTES-nätverket som SSF har finansierat. Inom denna verksamhet har ca 200 doktorander utbildats under en tioårsperiod, och ett stort antal högskolor och företag i hela Sverige har engagerats. Denna och andra satsningar har också medfört att Sverige har en kritisk massa och också en stark position i den internationella forskningen på området. Med tanke på det stora antal yngre forskare som utbildats det senaste decenniet finns goda förutsättningar för att gå vidare och ytterligare stärka denna.

Området inbyggda och autonoma system har starka kopplingar till många av de andra FoU-områdena. Sensorteknik och sensornät samt digital signalbehandling är viktiga tekniker när det inbyggda systemet ska kopplas upp mot sin omvärld, liksom radioteknik om systemet ska utbyta information med andra system. De allt mer komplexa inbyggda systemen kräver omsorg i valet av systemarkitektur, och systemteknik samt programvaruteknik är centrala färdigheter i utvecklingen av systemen. Simulering och beräkningsteknik används rutinmässigt för att förstå interaktionen mellan ett inbyggt system och dess omgivning, i synnerhet för reglertillämpningar. Simulatorer med rörliga delar styrs också av inbyggda system.

Inbyggda system är också redan en central komponent i många av våra viktigaste industrier, och deras betydelse ökar allt mer. Bland de viktigaste användarna finns telekom, fordon, process och automation, råvaruproduktion (genom de maskiner som används inom t ex gruv- och skogsbruk), flyg och rymd, energiteknik samt vård och hälsa (speciellt medicinteknik). Även inom upplevelseindustrin börjar området bli betydelsefullt, t ex i sammanhang där man inte bara vill stimulera syn och hörsel.

4.3 SYSTEMARKITEKTUR

Informationstekniska system består av miljontals rader programkod som samverkar med datorer med miljontals transistorer och en komplex omgivning. Att garantera att sådana komplexa tekniska system uppfyller de funktionella och andra krav som ställs är självklart en utmaning. Det klassiska tillvägagångssättet att överhuvudtaget ta sig an en sådan komplexitet är att bygga upp systemet kring funktionellt väldefinierade komponenter och att tidigt fastställa en struktur – en arkitektur – för hur komponenterna ska kopplas samman och interagera. I detta sammanhang avser vi med **systemarkitekturen** den struktur som definierar hur ett system bestående av **mjuk- och hårdvarukomponenter** är uppbyggt. Denna struktur bestämmer systemets funktionalitet såväl som andra egenskaper för hela systemet.

Följande definition av begreppet systemarkitektur är hämtat från ANSI/IEEE 1471-2000 (nämnas bör att det finns andra definitioner med samma huvudsakliga innebörd):

The fundamental organization of a system, embodied in its components, their relationships to each other and the environment, and the principles governing its design and evolution.

En viktig aspekt som fångas av ovanstående definition är att systemarkitekturen inte endast definierar hur dessa komponenter samverkar utan även hur systemet i sin helhet samverkar med sin omgivning som kan bestå av andra system såväl som mänskliga aktörer. En annan viktig aspekt är att systemarkitekturen inte endast är ett sätt att nedbringa komplexiteten vid konstruktionsprocessen utan också är ett medel för att kunna underlätta framtida vidareutveckling av systemet – dess evolution.

Ämnet har utvecklats och fått en mer framskjuten plats i takt med att systemen utvecklats och fått alltmer sofistikerad funktionalitet. Detta har lett till en ökning av komplexiteten som därmed ställt allt högre krav på systematiska metoder att hantera densamma. Man kan säga att ämnet utvecklades till en egen disciplin under förra decenniet. Allt tyder på att ämnets betydelse kommer att kvarstå under den kommande tioårsperioden.

Systemarkitektur som akademiskt ämne i vid mening omfattar alltså principer och processer kring hur storskaliga informationstekniska system, i ovanstående mening, specificeras, syntetiseras, verifieras och vidareutvecklas. Ämnet är uppenbart av stor strategisk betydelse för den informationstekniska industrin eftersom alla medel för att nedbringa

kostnaden vid framtagning av robusta system har stor betydelse. Ämnet spelar en avgörande roll för sådana tillämpningsområden som telekom, fordon och processindustri; för t ex systemtillverkare såsom Ericsson och ABB såväl som för systemintegratörer såsom Volvo, Scania eller Saab. Ämnet har också stark koppling till forskningsområdet inbyggda system/autonoma system. Att på ett strukturerat sätt hantera krav i hela processen från specifikation av system via dess syntes och även i vidareutvecklingsfasen pressar väsentligt ned utvecklingskostnaden samt ökar konkurrenskraften på grund av förkortade projektledtider.

Betydande forskning inom många av ämnets delområden sker idag vid bland annat Blekinge tekniska högskola, Chalmers, Linköping, Lund, Mälardalens högskola och Uppsala som alla har betydande forskningsmiljöer inom software engineering och datavetenskap som angör ämnet. Svensk forskning har bland annat bidragit med metodutveckling för att ta sig an storskaliga programutvecklingsprojekt. Andra viktiga delområden där svensk forskning profilerat sig är metoder för robust konstruktion av realtidsystem samt inom formell verifiering av både funktionella och tidsmässiga krav. Sverige är inom vissa delområden världsledande.

Svensk forskning har byggts upp delvis genom fokuserade svenska forskningsprogram såsom SSF:s ovan nämnda satsning på nätverket ARTES och SSF:s ramprogram i informationsteknik såväl som strategiska centra. Sverige har också relativt stor närvaro i forskningsprojekt som finansieras inom EU FP6 som angör ämnet såsom excellensnätverket ARTIST.

Internationellt har ämnet en framskjuten plats på många forskningsagendor. Exempel på detta är det strategiska forskningsinitiativet »Reference Designs and Architectures» inom EU FP6 plattformen ARTEMIS.

Forskning i Sverige såväl som internationellt har förvisso gjort stora framsteg vad avser principer och metoder för storskalig systemkonstruktion. Det är dock en lång resa kvar innan vi kan konstruera robusta informationstekniska system med samma grad av soliditet som gäller inom t ex väg- och vattenbyggnad. Ett robust system ska bland annat vara verifierbart med avseende på

- funktion
- prestanda och realtidsegenskaper
- pålitlighet vid komponentfel
- säkerhet vid attacker.

Beträffande funktionsverifiering kan två aspekter särskiljas. Den ena problematiken rör hur beställarens specifikation på ett systematiskt sätt kan överföras till en systemspecifikation som kan läggas till grund för systemarkitekturen. Idag finns det ingen generell metodik att göra detta på ett tillförlitligt sätt. Den andra problematiken handlar om att på ett systematiskt sätt verifiera det slutliga systemet mot systemspecifikationen. Det gängse sättet idag är testbaserat, vilket inte är tillräckligt för att på ett uttömmande sätt verifiera funktionaliteten. Stora framsteg inom formell verifiering har visserligen gjorts men metodiken behöver vidareutvecklas för att kunna angripa generella problem i storskaliga industriella system.

Verifiering av realtidsegenskaper som avser systemets möjlighet att leverera specificerad funktionalitet inom specificerade tidsramar är ett mer jungfruligt område. Här är det en stor utmaning att ett systems prestanda- och realtidsegenskaper till stor del beror på samspelet mellan dess komponenter. Sättet att hantera komplexitet genom att bygga abstraktionsnivåer utgör i sig en försvårande omständighet.

Utformningen av framtida system, som kan dra nytta av prestanda hos flerkärniga processorer, kommer att utgöra en mycket stor utmaning.

Man har med stöd av Moores lag successivt kunnat bygga in mer och mer funktionalitet i våra system utan att systemens totalprestanda har påverkats. Med datorindustrins plötsliga paradigmskifte mot s.k. multi core-processorer har detta gratisåkande abrupt tagit slut. Utformningen av framtida system, som kan dra nytta av prestanda hos dessa flerkärniga mikroprocessorer, kommer att utgöra en mycket stor utmaning.

Det är inte bara programbuggar som sådana, som kan äventyra funktionen hos ett system. Bara det faktum att systemen tenderar att bestå av fler och fler komponenter gör att sannolikheten för att ett systemfel äventyrar funktionaliteten ökar. Att vidareutveckla kostnadseffektiva lösningar att uppnå hög pålitlighet är också en viktig utmaning för systemarkitekturområdet.

En slutlig utmaning handlar om att se till att systemet kan leverera specificerad funktionalitet, även då det utsätts för attacker såsom datorvirus. Detta kan angripas på flera sätt. Vid utveckling av nya system kan antingen säkerhetskrav byggas in i specifikationen eller så kan systemet förses med skalskydd mot externa attacker. Forskningsinsatser är viktiga för att utkristallisera hur framtida system på bästa sätt ska kunna skydda sig från allehanda säkerhetsrisker.

4.4 RADIO

Användningen av radiovågor för överföring av information har ökat mycket kraftigt under de senaste årtiondena. Fram till ungefär 1980 var de stora avnämarna ljudradio och TV. Därutöver var det radar, sjöfart och mobilradio för transportdirigering. Som följd härav är också en mycket stor del av det mest användbara radiospektrumet (< 1 GHz) tilldelat rundradio och TV. Vissa omallokeringar har skett men förändringar går mycket långsamt. T.ex. baseras frekvenstilldelningen för TV på den s.k. Stockholmsplanen från 1961. Förändringar sker vid särskilda världsadministrativa och regionala konferenser. Sverige har spelat en central roll vid utvecklingen och standardiseringen av de mobila systemen.

Efter ca 1980 har mobiltelefonin kommit att bli en stor avnämare. Dock har de frekvensband som avsatts för dessa tillämpningar varit ganska små, speciellt i de lägre banden. Nya tilldelningar har skett i högre frekvensband omkring 2 GHz och även så högt upp som 3,5 GHz och 5 GHz. För fasta tillämpningar kan dessa band och även högre vara lämpliga men betydande svårigheter uppstår för mobil kommunikation. Det stora problemet är räckvidden.

Forskningen för mobila tillämpningar har framför allt på grund av frekvensbristen i lägre frekvensband kommit att karakteriseras av behovet av nya modulationstekniker med bättre frekvensutnyttning. Här har digital signalbehandling och kodning varit viktiga medel. Förutom på dessa två områden har stora insatser också gjorts inom områdena antenner och antennsystem samt vågutbredning. Det senare har speciellt gällt frågor kring flervägsutbredning och bekämpning av de problem som uppstår på grund av tidsdispersion.

Under senare år har det också blivit alltmer uppenbart att den sista sträckan fram till bostäder i hela världen måste bli trådlös. Koppar finns inte i tillräcklig omfattning och är också för dyrt. Den trådlösa teknikens fördel är den snabba utbyggnaden. Så snart en basstation har satts i drift har ett stort antal människor kring basstationen fått telefoni. Den här utvecklingen gäller mycket stora delar av jorden. Redan idag har mer än 50 procent av jordens befolkning mobiltelefon.

I takt med denna utveckling följer också nya krav. Inte minst för att de mobila systemen i stora delar av världen utgör den enda infrastrukturen. Denna måste då ensamt ha tillräcklig kapacitet och säkerhet för samhällenas utveckling. I det perspektivet är det inte enbart fråga om telefoni. Vi vet ju hur beroende vi har blivit av våra IT-system.

Det är inte bara de mobila systemen som utvecklas i en rask takt. Digital radioteknik har kommit också till TV-distributionen. Detta resulterar i en väsentligt bättre frekvensanvändning. Här finns kanske en möjlighet att åstadkomma en bättre balans mellan tilldelningen av spektrum mellan olika tillämpningsområden.

Förutom de mobila systemen har radio i allt högre grad kommit att användas också för fasta och nomadiska tillämpningar, såsom de olika systemen i IEEE 802-familjen. Medan mobiltelefonin har kommit från telekomsidan har dessa lösningar kommit från datasidan. Det är då angeläget att kunna få fram lösningar som kan fungera i heterogena miljöer.

Ett ytterligare tillämpningsområde är RFID. Man kan se en framtid då radio inte bara finns överallt i form av radiovågor utan att radiosändare/mottagare faktiskt är inbyggt i nästan varje föremål som vi äger. Allt kommer att behöva kommunicera med allt annat.

Den svenska forskningen har legat långt framme under hela ovannämnda utveckling. Betydande kompetens finns vid våra universitet och tekniska högskolor.

4.5 DIGITAL SIGNALBEHANDLING

Digital signalbehandling handlar om att representera, manipulera och transformera signaler och den information som signalerna innehåller med hjälp av matematiska metoder. Signalbehandling har väldigt många praktiska tillämpningar, inom dataöverföring och datadetektion (t.ex. mobiltelefoni och datalagring, t.ex. CD, DVD) vilket inkluderar datakompression (t.ex. mp3) men även inom tolkning av naturliga signaler t.ex. inom seismografi och astronomin.

Digital signalbehandling har ökat markant i betydelse under de senaste 20 åren. En viktig anledning till detta är teknologiutvecklingen inom digitala kretsar som resulterat i att digitala implementeringar ofta blivit mer **kostnadseffektiva** än analoga motsvarigheter. Teknologiutvecklingen har också medfört att gränsen för hur stor komplexitet som kan implementeras hela tiden flyttas framåt. Detta resulterar i att en digital lösning ofta erbjuder möjligheten att tillämpa mer avancerade, mer effektiva och i många fall helt enkelt bättre lösningar. Avancerade signalbehandlingslösningar kan också erbjuda enklare och billigare hårdvara utan att prestanda blir lidande. Denna utveckling innebär att gränsen mellan hårdvaru- och mjukvarulösningar ständigt förskjuts och att allt mer av förädlingsvärdet i produkter ligger i programvaran och systemlösningarna.

En annan mycket viktig aspekt är den **flexibilitet** och den **ökade funktionalitet** som en digital lösning ofta innebär. Den stora tillgängligheten av programmerbara kretsar och generella datorlösningar resulterar i att digital signalbehandling ofta implementeras i mjukvara så att ändringar eller införande av utökad funktionalitet etc. kan göras i efterhand utan att man nödvändigtvis behöver byta ut hårdvaran samtidigt.

Ofta erbjuder digital signalbehandling också bättre kontroll på **noggrannheten** jämfört med en analog lösning. I en analog lösning tenderar noggrannheten att bero av alla ingående komponenter och eftersom sådana ofta har ett visst toleransintervall kommer noggrannheten att kunna variera från exemplar till exemplar. I en digital lösning fixeras noggrannheten redan i designstadiet när ordlängder, fix- respektive flyttalsaritmetik, kvantiseringsnivåer m.m. bestäms.

I Sverige bedrivs forskning inom digital signalbehandling både i industriföretag och akademiskt. Traditionen är stark i Sverige med ett antal globala aktörer inom telekommunikationsområdet och försvarsindustrin. Fordonsindustrin är på väg att bli en allt viktigare aktör eftersom det är med digital signalbehandling man hoppas kunna möta framtidens miljö- och säkerhetskrav. Det finns ett antal internationellt erkända akademiska forskargrupper i Sverige och nära samarbete med industrin förekommer.

Idag är digital signalbehandling en nyckelkomponent inom många olika områden av stor vikt för Sverige såsom kommunikation, bildbehandling, reglerteknik, medicinteknik, kryptering, och till och med inom det ekonomiska området, där signalbehandlingsalgoritmer bland annat används för prognoser och simulering av ekonomiska förlopp. Inte minst inom trådlös kommunikation har forskning och utveckling inom området spelat en central roll för den enorma tillväxten av kapacitet och funktionalitet som har skett de senaste 10 åren.

Mobiltelefoni är ett bra exempel på hur digital signalbehandling och digital kretskonstruktion gått hand i hand – där Sverige i ett internationellt perspektiv är i en ledande position – och där telefonen blivit mindre och mindre men samtidigt blivit mycket mer kapabel att hantera ökade krav på bandbredd, bildskärmkvalitet, utökad funktionalitet och ljud- respektive bildbehandling.

I dagsläget diskuteras stora framtida satsningar inom kommunikationsområdet i Asien – framförallt i Kina – inför nästa generations trådlösa mobila kommunikationssystem.

Vidare utveckling och framsteg inom både området digital signalbehandling som sådant men också inom halvledarteknologi och digital kretsteknologi kommer att fortsätta vara av central vikt. Denna utveckling kommer att sätta gränser för hur komplexa och avancerade lösningar som kan tillämpas samt även för hur små och effektsnåla produkter kan bli. I takt med att växande komplexitet kan hanteras kommer mer avancerade signalbehandlingsmetoder att kunna användas, vilket kommer prestanda och kapacitetanvändare till gagn. Man kan bokstavligen följa utvecklingen genom att se hur bandbreddsbehovet för digitalteve av en viss kvalitet sakta sjunker.

En stor utmaning är att kunna hantera signalbehandling i multiprocessormiljöer.

En annan drivande faktor är utökade och mer komplexa kravbilder. För att klara av ökade krav på snabbhet, bandbredd, kapacitet etc. behöver mer effektiva och högpresterande signalbehandlingsmetoder utvecklas. En stor kommande utmaning är därför att kunna hantera signalbehandlingsmjukvara implemente-

rad i de multi-processormiljöer som nu börjat etableras och marknadsföras. Utmaningen består både i den faktiska algoritmdesignen, men också i att kunna migrera algoritmkod från en multi-processormiljö till en annan. Detta är ett framtida måste för att kunna undvika att göra en total – och kostsam – omdesign av algoritmimplementationen mellan olika generationer av multi-processorprodukter.

Sammanfattningsvis erbjuder digital signalbehandling hög prestanda, kostnadseffektivitet, flexibilitet och lämpar sig ypperligt för både storskalig tillverkning och små serier. Utvecklingen inom området kommer att betyda mycket för hur avancerad teori kan omsättas i praktiken inom många tillämpningsområden.

4.6 SENSORSYSTEM

Sensorsystem betecknar en grupp av **sensorer** med tillhörande **algoritmer** för att extrahera information för användarpresentation, reglering eller beslutsstöd. Virtuella sensorer är ett annat användningsområde för sensorsystem, där målet är att med relaterade sensorer och fysikaliska modeller räkna ut information som inte direkt låter sig mätas.²⁰

Konventionella sensorer mäter tryck, temperatur, vikt, acceleration, rotationshastighet osv. En klass av sensorer mäter amplitud eller energi i vågor av vitt olika våglängd, som mikrofoner, seismometrar, magnetometrar, elektrooptiska kameror och andra bildalstrande sensorer som IR. Sensorer kan också vara aktiva där energi först emitteras och dess reflektioner sedan mäts som i radar, laserradar och sonar.

Det pågår en intensiv utveckling inom området sensorteknik där sensorerna dels blir mindre och billigare (MEMS teknik) för att kunna integreras direkt på kretskortsnivå, dels

20. Detta avsnitt är skrivet av professor Fredrik Gustafsson, inst f systemteknik, Linköpings universitet, på panelens uppdrag.

blir mer avancerade. Ett exempel på avancerade sensorer är den tredimensionella bildinformationen som MR (magnetresonans) och CT (computed tomography) numera kan ge inom medicinsk teknik. Ett annat exempel är kemiska sensorer och känner lukt och smak.

Informationsbehandlingen i sensorsystem kallas generellt **fusion**, och brukar delas upp i tre nivåer, där gränsdragningen inte är helt klar. Datafusion gör en första bearbetning av mätningar från sensorer av samma slag, sensorfusion extraherar information från vitt skilda sensorer, medan informationsfusion också integrerar högnivåinformation. Gruppantennen är exempel där datafusion använder lobformningsteknik för att räkna ut en riktning till sändaren, som sedan kan integreras med annan sensorinformation. En vanlig form av högnivåinformation är databaser i form av geografiska informationssystem (GIS). I ett sensorsystemperspektiv, kan digitala vägkartor, topografisk information, satellitbilder och sjökort alla ses om sensorer.

Sensorerna i ett sensorsystem kan vara centraliserat och samlade i en produkt, eller decentraliserat över ett större geografiskt område.

Centraliserade sensorsystem innefattar navigationssystem i flygplan där tröghets-sensorer, radarhöjdmätare, lufttryckssensorer, satellitnavigeringsdata och olika GIS bearbetas till position, attityd och hastighetsinformation. Kollisionsvarningssystem i bilar är ett område i framfart där radar, laserradar, videokamera, ultraljudssensorer och digitala vägkartor bidrar till en omvärldsuppfattning som kan användas till att varna föraren och automatiska ingrepp.

Decentraliserade sensorsystem brukar kallas **sensornätverk**. Nätverk av seismometrar utspridda över hela jorden har sedan länge används för att lokalisera jordbävningar. Mobiltelefonsystem är ett nytt exempel, där varje basstation är en sensornod som ger partiell information om var mobiltelefonerna finns. Exempel på mätningar är signalstyrka och (relativ) gångtid för signalerna. Genom att fusionera information från flera basstationer kan en global position räknas ut. Den amerikanska myndigheten FCC är drivande med sina SOS-larmskrav på 50 meter positioneringsnoggrannhet. Satellitnavigeringssystem som GPS och det framtida Europeiska Galileo bygger på geografiskt utspridda satelliter och markstationer för differentiell korrektion, där mottagarenheten innehåller själva sensorsystemet för positionering. GPS integreras i allt fler sensorsystem, som en sensor bland många andra. Sensornätverk för att detektera, lokalisera och följa exempelvis terrorister är idag ett hett forskningsområde, där sensorteknik (t.ex. sensorer för radioaktivitet), skalbarhet och prestanda är drivkrafter inom forskningen.

Inom decentraliserade sensornätverk är kommunikation en viktig faktor. Sensorer har typiskt hög bandbredd medan kommunikationskanalen och den energi som krävs sätter begränsningar. Olika standarder för transpondersystem finns inom luftfart (ADS) och sjöfart (AIS), där sensorsystemen byter information med varandra och koordinerar sina beslut. Aktiv forskning pågår inom fordonsindustrin för liknande system för fordon-fordon och fordon-vägsideskommunikation.

Svensk industri är mycket aktiv inom området sensorsystem. Det finns ett otal exempel på avknopningsföretag inom sensorteknik. Fordonsindustrin är aktiva inom sensorsystem för säkerhetsfunktioner. SAAB-koncernen är framgångsrika leverantörer av övervakningssystem för luftfart och sjöfart, och allmänt inom målföljning och navigering för militära tillämpningar. FOI har en bred verksamhet inom sensorteknik och sensorfusion.

4.7 SIMULATORTEKNIK

Simulering av fysiska miljöer och tekniska system för operatörsinteraktion, i motsats till vetenskaplig simulering, har blivit en viktig komponent i modern forskning, design, produkttestning och utbildning. De tidigaste exemplen av simulator teknik är kör- och flygsimulatorer, som har funnits i många former under ca 60 års tid, och nu anses vara en

naturlig del i utbildning och träning. Genom utvecklingen av allt billigare och bättre dator- och interaktionshårdvara blir simulatorer kontinuerligt mer effektiva och realistiska och används inom ett ökande antal områden.

Utbildningssimulatorer är den vanligast förekommande typen. Det kanske tydligaste exemplet återfinns inom medicin där simulatorer används för att lära och träna svåra och komplexa ingrepp. Syftet är både att ge grundläggande kunskap och öva handgrepp genom upprepade simulering, vilket är speciellt viktigt då ovanliga ingrepp skall övas in. Inom flygsektorn kan piloter utbildas på nya flygplanstyper innan fysiska plan levereras och flygledare kan tränas på att hantera komplexa och farliga konflikter i luftrummet, vilka sällan uppstår under normala förhållanden. Vidare används nu inom sjöfarten simulatorer för att träna besättningar på att hantera fartyg och att manövrera dessa i svårnavigerade områden och under svåra väderförhållanden.

Simulatorer används också som ett verktyg för forskning genom att de gör det möjligt att under kontrollerade former studera människors interaktion med och respons till den simulerade miljön. Ett exempel på detta är de studier av förarebeteenden som utförs vid Vägtrafikinstitutet (VTI). I dessa studier kan en förare utsättas för ovanliga och oförutsedda händelser och deras beteende kan registreras och analyseras.

Ytterligare en typ av användning återfinns inom design och testning av produkter. En god simulator tillåter produktutvecklare att utvärdera virtuella prototyper. Den allt ökande realismen gör det möjligt att utvärdera inte bara visuella intryck utan också funktioner. T.ex. kan virtuell kraftåterkoppling användas för att simulera känslan i mekaniska artefakter såsom styrsystemet och växelspaken i en bil. Dessa simulatorer minskar antalet dyrbara fysiska modeller som behöver byggas och blir en naturlig del i »design-test-redesign» loopen.

Under de senaste åren har stora framsteg gjorts inom simulator teknik. Denna utveckling beror både på den snabba utvecklingen av både mjuk- och hårdvara inom området, samt på en ökande förståelse för hur simulatorer bäst utnyttjas. Fler och fler simulatorer drivs med standard PC-teknik och rider på vågen av utveckling av datorspel. Det senaste exemplet på denna utveckling är hårdvara för kraftåterkoppling som tidigare kostade hundratusentals kronor och nu kan köpas till spelkonsoler för några tusen kronor.

Det återstår emellertid många öppna frågeställningar att besvara innan simulator teknik kan utnyttjas till sin fulla potential. Dessa frågeställningar finns i huvudsak inom följande områden.

Simulering och modellering. För att uppnå ökande realism krävs det förbättrad fysikalisk simulering. De flesta simulatorer upplevs idag som statiska miljöer och möjligheten till att dynamiskt påverka eller påverkas av omvärlden är begränsad.²¹ Det är inte bara naturfenomen, vatten, rök, eld, väder mm som behöver simuleras utan även virtuella individer och deras interaktion med omvärlden. Detta leder till en utveckling av intelligenta agenter som opererar mer eller mindre autonomt i den simulerade världen.

Representation och interaktion. Nuvarande hårdvara för simulering, speciellt immersiv (omslutande) simulering kräver dyra och obekväma hjälmar, glasögon och handskar. För att simuleringsteknik skall kunna utnyttjas fullt ut krävs det att alla dessa aspekter förbättras och anpassas till de specifika arbetsflöden som skall simuleras. För kunna visa upp den realistiska simuleringen krävs det också allt mer sofistikerade metoder för perceptualisering. Aktuella områden inom t.ex. datagrafik är mer avancerade och realistiska ljussättningsmodeller och realtidsrendering av mycket stora modeller. Inom interaktionsteknik krävs förbättrade algoritmer för t.ex. analys och syntes av röst. Ett annat område av hög prioritet är kollaborativ simulering i vilken ett flertal individer samtidigt interagerar med simulatoren.

21. Här finns stora synergier med datorspelsutvecklingen. En stor skillnad ligger emellertid i att simulatorer ofta kräver fysikaliskt korrekta modeller, vilket inte är fallet i de flesta datorspel.

Perspektivstudier och simulatordesign. En massivt underskattad aspekt av simulatorer är den grundläggande kunskap som implicit kodas in i simulatorn av utvecklaren och de arbetsflöden i vilka simulatorn skall användas. Genom att ta hänsyn till dessa aspekter kan man undvika att utveckla fullt realistiska system och istället fokusera på den kunskap som skall förmedlas och dess representation. Genom att förädla simulatorn på detta vis kan även störande information undvikas och en mer effektiv lärandesituation uppstå än om full realism eftersträvas. Denna typ av forskning och utveckling är en nyckel till utvecklingen av morgondagens framgångsrika simulatorer.

Sverige ligger i den absoluta framkanten avseende användning av simulatorteknik, men också i den tekniska forskningen kring komponenter till simulatorer och i integration av simulatorer inom vissa områden.

Den tekniska forskningen sker i huvudsak vid eller i anslutning till universitet och högskolor och det finns flera forskargrupper med världsledande verksamhet inom områden med relevans för simulatorteknik. Den integrerande verksamheten sker i första hand vid små specialiserade företag, t.ex. Mentice, SenseGraphics och Melerit, eller inom ramen för verksamheten vid större användare, t.ex. Volvo, Saab, VTI, och Sjöfartsverket. Perspektiv- och systemstudier utförs av vissa användare, t.ex. VTIs forskning kring körsimulering, men också vid universitet och högskolor som fokuserar på interaktion, kognition, användbarhetsstudier och arbetsflöden.

Simulatorer kommer att spela en växande roll i alla samhällets sektorer.

Simulatorer kommer att spela en växande roll i alla samhällets sektorer. Även om Sverige ligger väl till inom användandet av simulatorer, utveckling av teknik och studier av simulatorerna i sig, saknas övergripande forskning som på ett samordnat vis adresserar de utmaningar och utvecklingsområden som beskrivits ovan. Ett gränsöverskridande forskningsprogram som bygger på simulatorkoncept och tar tillvara på den forskningskompetens som finns i Sverige skulle kunna bidra till att ytterligare förbättra och sprida användningen av simulatorer och ge svenskt näringsliv och forskning de fördelar som avancerad simulatorteknik kan erbjuda. Programmet bör innehålla grundläggande teknisk forskning på både hård och mjukvara, men också integrerande forskning med förgreningar mot studier av kognition, användarkrav, arbetsflöden och kunskapsrepresentation.

4.8 SIMULERING OCH BERÄKNINGSTEKNIK

Moderna datorer och beräkningsteknik har gjort matematiken till en systemvetenskap, som kommer in i snart sagt varje större tekniskt utvecklingsprojekt. I allmänhet kommer beräkningstekniken in som ett verktyg för konstruktion och analys, men ibland även som en del i produkten, då många produkter idag innehåller t.ex. styrsystem i vilka realtidsberäkningar genomförs, eller analysystem (t.ex. signal- eller bildanalys), med krav på korta responstider.

Till de större simulerings- och beräkningstekniska uppgifterna hör särskilt **fältproblem** (partiella differentialekvationer), **statistisk analys**, och **reglerteknik**. Som exempel kan nämnas att den moderna telekom-tekniken i allt högre grad rör sig mot trådlös kommunikation, där kommunikationstekniken är direkt baserad på elektromagnetik i olika former, och det är därför en central uppgift i konstruktions- och designprocessen att kunna beräkna t.ex. den elektromagnetiska vågutbredningen för en mobiltelefonantenn (oavsett om denna sitter i telefonen eller på basstationen).

Men det kan lika gärna handla om elektromagnetisk strålning inom t.ex. medicinsk teknik, såsom i NMR-baserad »röntgen»-teknik. I det senare fallet mäts en spridd våg upp av ett detektorsystem, och ur denna spridning rekonstrueras bilden av det spridande objek-

tet; detta förutsätter omfattande beräkningar, även omfattande bildbehandling, som i just detta fall även blir en del i produkten.

Delar av beräkningstekniken är naturligt kopplad som »enabling technology» till IKST. Men även andra områden, som t.ex. robotik och mekatronik i kombination med styrning och bildbehandling, genererar exempel på komplexa system där andra former av beräkningsteknik är av central betydelse. Robotik och industriell automation blir i allt högre grad av vikt inom IKST.

Inom statistisk beräkningsteknisk analys märks särskilt stokastiska processer, tidsserieanalys och statistisk systemanalys, t.ex. studier på systemtillgänglighet och belastning. Sökning på Internet baseras på relativt enkla sannolikhetsmodeller, som dock innehåller oerhörda datamängder, och rankningen av träffarna bestäms genom att man löser egenvärdesproblem med den moderna beräkningsteknik som utvecklats de senaste 30 åren – en högst oväntad tillämpning av beräkningsteknisk forskning som knappast kunde förutses innan Internet ändrade på sökvanor, sökobjekt och söktekniker. Sannolikhetsteoretiska modeller används traditionellt även för analys och dimensionering av telekomsystem, för att garantera rimliga responstider. Sådana tekniker blir av ökad betydelse för IKST(m) när systemen blir alltmer programvarubaserade.

Signal- och bildbehandling är visserligen ett väl etablerat område, men även här ser vi en kraftig utveckling av teknik och behov, där massmedia (i betydelsen ljud och bild i stora kvantiteter) har tagit helt nya former. Bild och ljud förmedlades tidigare antingen i realtid via radiovågor, eller på någon form av »hårdvara» som t.ex. CD eller DVD. Men trenden går mot att datamängden skall kunna överföras på beställning i realtid, antingen trådlöst eller via kabel, vilket kraftigt ökar behovet av kompression och rekonstruktion; här spelar signal- och bildbehandlande matematik en utomordentligt stor roll och ligger till grund för ett antal olika standarder. På sikt kan man vänta sig att nya tekniker såsom wavelets kan utvecklas till nästa generations kommersiella teknik.

I reglertekniska system används beräkningstekniken dels i konstruktionsfasen, då man använder omfattande simuleringsstudier för att se hur ett (digitalt) reglersystem lyckas reglera processen, dels som en del av regulatorns implementation i en mikroprocessor. Idag är olika reglersystem vanligt förekommande inom en mängd produkter, i ett brett spektrum från »enkla» konsumentprodukter (t.ex. DVD-spelare och mobiltelefoner) till de mest avancerade industriella specialprodukterna (t.ex. avionik, eller kundanpassade processtekniska system).

Utvecklingen mot alltmer avancerade regulatorer innebär att mikroprocessorerna som implementerar reglersystemet även skall utföra ganska omfattande beräkningar. Som exempel kan nämnas övervaknings- och reglersystem för en bils väghållning, vilket kan innehålla antispinn, antisladd, bromsreglering, kraftfördelning, etc. En stor mängd sensordata ligger här till grund för regulatorns verkan, vilken måste beräknas i realtid. Beräkningstekniken gränsar här även mot sensorteknik.

Inom livsvetenskaperna, särskilt medicinsk teknik, gör beräkningstekniken nya insteg, och det är sannolikt att statistik bildbehandling kan komma att spela en allt viktigare roll. Detta avser såväl forskning som vård. Ny prototeknik i kombination med nya material, t.ex. kolfiberkompositproteser inom ortopedi, förutsätter matematisk modellering och beräkningsteknik i designprocessen. Även informatikaspekten är av vikt på IKST-området, men här är det beräkningstekniska inslaget kanske mindre.

Då matematiska modeller, beräkningsteknik och simulering finns med som del i nästan alla algoritmer för och tekniker inom IKST bör dessa områden ses som en naturlig komponent inom programmet. Även matematik i mer allmän mening kan komma ifråga när den bedöms ha relevans. Detta torde särskilt gälla diskret matematik. Relevansen avgörs av på vilket sätt föreslagen forskning är knuten till tillämpningar inom IKST.

Programvara inom tekniskt-vetenskapliga beräkningar är en mycket snabbt växande och lönsam bransch för den som lyckas få fram ny teknik. Avgörande är att skapa sådan programvara som inte bara kan användas för att angripa nya problem, utan som även gör konstruktions- och analysprocesser effektivare. Produktiviteten kan härvidlag höjas genom bättre design av programvarugränssnitten, liksom förbättrade primitiver för vanligt förekommande beräkningsuppgifter. Därtill kommer att visualisering av beräkningsresultat i komplexa modeller är avgörande för användningen av beräkningstekniken som medel att vinna relevant kunskap om de simulerade systemen.

Sverige har, i förhållande till det internationella läget, en mycket god ställning, även om vårt internationella bidrag precis som vår forskning av naturliga skäl inte utgör mer än en liten bråkdel av helheten. Men då teknikområdet är av så central betydelse är det strategiskt viktigt att säkra en fortsatt hög nivå och god kompetensförsörjning inom landet.

I förhållande till landets storlek har Sverige inom flera områden inom IKST, bl.a. telekom- och försvarsindustri, kunnat hålla en anmärkningsvärt hög teknisk nivå, och i dessa ansträngningar har beräkningstekniken varit av stor betydelse.

Det är emellertid inte bara i industriell FoU och produktutveckling som Sverige dragit nytta av kompetensen på det beräkningstekniska området. Det finns även en programvaruutveckling som hävdar sig på den internationella marknaden. Denna är inte unik för beräkningstekniken, utan man skall kanske här se beräkningsteknikens datavetenskapliga utlöpare som en kombination av avancerad programvaruteknologi och beräkningstekniskt kunnande. Som ett exempel på ett framgångsrikt programvaruföretag på det beräkningstekniska området märks bl.a. det svenska företaget Comsol AB, som idag tar allt större marknadsandelar inom beräkningar med Finita element-metoden (FEM) och har ett dusintal dotterbolag runt om i världen, och en omsättning på väg mot 200 MSEK.

Som beskrivits ovan utgör beräkningstekniken en »enabling technology» inom ett flertal områden, och generellt inom IKST. Området som sådant har större betydelse ekonomiskt för avnämarna än för den industriella delen av beräkningstekniken.

Här finns en miljardindustri (Sverige) när det gäller programvaruutveckling och licenser men den väsentliga nyttan – som är betydligt större – kommer först när avnämarna använder dessa produkter i sin egen produktutveckling och för egna tjänster. Inom IKST-branschen utrustas en nyanställd med dator och relevant programvara (beräkningsteknik) för att kunna fullgöra sina uppgifter, som har ett annat syfte än beräkningstekniken i sig.

Stora avnämare inom svensk IKST-industri är bl. a. Ericsson, ABB, SKF, Volvo och SAAB, och deras internationella motsvarigheter. Det är emellertid knappast möjligt att uppskatta värdet av beräkningstekniken för dessa företag eftersom beräkningstekniken helt enkelt är en nödvändig komponent i deras tekniska utvecklingsprojekt tillsammans med olika andra teknikområden som utmärker varje enskilt företag eller bransch, och som måste behärskas för att dessa industrigrupper skall behålla en ledande ställning på sina respektive områden.

Det finns en växande programvaruindustri på området, men för IKST-området torde den viktigaste utvecklingen vara att det finns såväl programvara som nödvändig teknisk kompetens (humankapital) för att dra nytta av denna teknik i design-, konstruktions-, och analysprocesser av olika slag.

Den senaste tiden har kombinationer av etablerade tekniker baserade på tekniskt-vetenskapliga beräkningar gjort stora framsteg. Så kallad »multifysik», där två eller flera interagerande fysikaliska fenomen simuleras, är inte sällan av stor betydelse i högteknologiska system. Hit hör t.ex. aero-elastisk interaktion, där en viss geometri (t.ex. en vingprofil + roder) designas för att uppnå en önskad aerodynamisk effekt. De aerodynamiska

lasterna på strukturen orsakar emellertid deformationer som ändrar geometrien, och det blir nödvändigt att simulera såväl strömningsteknik som hållfasthet för att bestämma hur dessa egenskaper interagerar.

Den mest förvånande egenskapen hos beräkningstekniken är emellertid, att likartade tekniker kan användas inom ett utomordentligt brett spektrum av tillämpningar. Även om svårighetsgraden kan variera är det sålunda värt att notera att de grundläggande beräkningstekniska principerna är snarlika i ovanstående fall och i andra avancerade tillämpningar. Inom livsvetenskaperna görs för närvarande betydande framsteg i att simulera det kardiovaskulära systemet. Tryckstötter från hjärtats kontraktioner deformerar artärerna och påverkar strömningsbilden i blodkärlen; detta antas kunna prediktera turbulens och plackbildning i blodkärlen. Givet att hjärt-kärlsjukdomar är av så stor betydelse inom hälso- och sjukvård måste dessa problem betraktas som synnerligen intressanta tillämpningar av beräkningstekniken.

Det är just denna universella karaktär hos beräkningstekniken som gör den till en »enabling technology» på så många områden. Inom IKST kan man kanske anse att beräk-

Det är mycket vanligt inom beräkningstekniken att en metodik för ett tillämpningsområde kan komma till nytta inom ett annat.

ningstekniska metoder inom elektromagnetik är viktigare än de flesta andra tillämpningar, men det är även mycket vanligt inom beräkningstekniken att en metodik utvecklad inom ett givet tillämpningsområde också kan komma till nytta inom ett annat.

Av detta skäl är det motiverat att inom IKST(m)-programmet ta upp väsentliga delar av beräkningstekniken, särskilt den som är tillämpningsdriven, som en viktig del av programmet. Detta kan i

huvudsak drivas genom att fokusera på direkta problem som idag kan identifieras i industrin, men eftersom beräkningstekniken upprepade gånger svarat för förvånande resultat när den kommit i ny tillämpning kan man eventuellt tänka sig ett bredare stöd.

Det är inte en alltför vågad gissning att simulerings- och beräkningsteknik kommer att få en alltmer framträdande roll, främst genom att tillämpas på nya områden, liksom att utvecklingen mot alltmer sofistikerade tekniker förutsätter beräkningsteknik för att till fullo bemästras. Huvuddelen av denna utveckling kommer att ske utomlands, men det är av avgörande betydelse för svensk teknik och industri att vi har nödvändig kompetens att tillgodogöra oss dessa tekniska framsteg och själva kan utveckla specialkunskaper inom såväl etablerade som nya nischer.

Det är inte lätt att föreställa sig var området kommer att befinna sig inom 10–15 år. Genombrottet för Internet skedde för knappt 15 år sedan, och tekniken att med egenvärdesberäkningar söka med hjälp av Google var vid den tiden fortfarande omöjlig att förutse. Det är fullt tänkbart att nya sådana oväntade och förvånande tillämpningar kommer att dyka upp inom IKST-området.

En gissning är att bildbehandling kommer att bli ännu mycket mer avancerad, med tillämpningar – och kanske betydande industriella konsekvenser – inom mediaindustri, robotik, mobil kommunikation och navigation, övervakning och analys etc. Här ser vi att grundläggande tekniker som utvecklas idag kan komma att utnyttjas i många nya olika produkter. Sannolikt står kommunikationssystem ännu bara i början av sin tekniska utveckling, med en enorm potential för kundanpassning.

Likaså kommer allt fler system att få integrerade, automatiska styrsystem. Miljöproblem kan väntas driva fram nya krav på flertalet system, och kanske kan man spekulera i att även om drivlinan i fordon kommer att förbli baserad på förbränningsteknik, så kommer den att innehålla nya, avancerade styrsystem för såväl förbränning och hybridteknik, som en ny generation automatiska transmissioner.

Livsvetenskaperna förefaller vara det kanske viktigaste området där beräkningstekniken just nu gör de första betydande framstegen. Det ter sig rimligt att denna utveckling kommer att fortsätta och kanske kan man om 10–15 år se beräkningstekniken i vardaglig användning inom medicin och biologi, som en del av IKST-områdets bastillämpningar.

I samtliga fall diskuterar vi system som inte kan konstrueras eller realiseras utan beräkningsteknik. Beräkningsteknikens roll bör därför inte underskattas, även om den inte är IKST-områdets mest centrala teknik.

4.9 KNOWLEDGE DISCOVERY OCH VISUALISERING

Mängden data som produceras i det moderna samhället ökar exponentiellt. Automatisk datain fångning med hjälp av allt mer avancerade sensorer och data genererade i simuleringar ligger bakom denna utveckling. Vidare görs mer och mer information tillgänglig i databaser som kan nås via Internet. Datastorlekarna från enskilda experiment och simuleringar har rört sig snabbt från Gigabyte till Terabyte i storlek och ibland även passerat Petabyte (10^{15} bytes) på väg uppåt. Vetenskap handlar idag i mycket stor omfattning om insamling, organisering och transformering av information i syftet att både reducera och integrera data för att möjliggöra extraktion av kunskap och understödja upptäckter. Exempel på behovet av avancerad dataanalys finns därför inom så gott som samtliga vetenskapliga områden och näringslivsgrenar. Aktuella exempel utgörs av: behovet av att fusionera och analysera sensordata inom processindustrin, sökningar och mönstermatchningar inom bioinformatik, analys av simuleringar och mätningar inom klimat- och miljöområdet, och hanteringar av diagnostiska data inom hälso- och sjukvård.

För att möta morgondagens utmaningar inom området krävs det nya och alltmer sofistikerade verktyg för att analysera de genererade datamängderna. Dessa verktyg bygger till stor del på följande grundkomponenter.

Matematisk modellering och simulering. Matematiska modeller är fundamentala för att beskriva fenomen. Bland verktygen ingår matematisk analysis, sannolikhetsteori, statistisk inferensteori, diskret matematik och algoritmer (t.ex. i form av prediktionsmetoder). Semi- och icke-parametriska metoder samt Bayesiansk MCMC-metodik och bootstrap-verktyg används allt oftare för att hantera ökande komplexitet i såväl data- som modellstruktur. Dessa modeller ligger sedan till grund för datorsimulering av komplexa system. I dagsläget är simuleringsverktygen ofta så exakta att det är meningsfullt att kombinera modeller från flera områden i större systemsimuleringar.

Knowledge Discovery and Data Mining. Syftet med knowledge discovery²² är att söka igenom stora datamängder och leta efter icke-triviala mönster som tidigare inte upptäckts. Verktyg som ofta används för detta bygger på automatisk klassificering, sökning med associationsregler, klustering m.m. Området knowledge discovery och data mining har omfattande förgreningar till grundläggande datavetenskap och matematisk statistik. Exempel på delområden som ingår är maskininlärning, databassökning, mönsterigenkänning mm.

Visualisering. Stora datamängder föder nya behov för vetenskaplig datavisualisering. Trots bättre matematiska modeller och ökande förståelse för matematiska uttryck känner människor sig ofta bekvämare med visuella uttryck. Beskrivning av seismiska data från ett jordskalv eller luftens strömningar kring en flygplansvinge är klassiska exempel som förklarar av visuell presentation. Inom visualisering utnyttjas den mänskliga hjärnans enorma kapacitet för att tolka bilder till att analysera data och uppnå insikter om innehållet i data. Visualisering kan ses som en datareduktionsprocess i vilken användaren, ofta interaktivt, förfinar innehållet i den visuella representationen av data. Visualisering bygger på tekniska komponenter från beräkningsteknik och datorgrafik, men vilar också på en grund av perceptionsforskning.

22. En svensk översättning av knowledge discovery skulle kunna vara kunskapsupptäckt.

Utvecklingen verkar gå mot en integration av de ovan beskrivna komponenterna till interaktiva miljöer för beslutsstöd och problemlösning. Under de senaste åren har begreppet Visual Analytics²³ tagits fram för att beskriva dessa miljöer. De stora utmaningarna för området ligger dels i att ta fram nya metoder för knowledge discovery och dels i att inkludera dessa i användbara mjukvaror som möter slutanvändares faktiska behov. Att uppnå detta kan komma att kräva användbarhetsstudier och utvärderingar av framtagna metoder i mycket större omfattning än tidigare, och kräva täta samarbeten mellan utvecklare av metodik och tillämpare inom både universitet och näringsliv.

Sverige har en lång tradition inom många av de discipliner som ligger till grund för knowledge discovery både inom matematik och datavetenskap. Det råder emellertid en allmän brist på forskning och kompetens inom databasområdet. Med få undantag har också det samlade grepp som utveckling och forskning på knowledge discovery kräver lyst med sin frånvaro i Sverige. Det är först på senare tid, som framförallt behovet inom bioinformatik har lett till att grupper formerats för att utveckla dessa verktyg. Inom visualisering har Sverige på några få år utvecklats till det ledande landet i norra Europa. Vi har nu ett flertal grupper som forskar på visualiseringsteknik och de satsningar på visualisering som nu koordineras av KK-stiftelsen kommer att leda till större samverkan mellan grupperna och med tillämpningsområdena. Sverige saknar emellertid en fokuserad satsning som knyter samman knowledge discovery och visualisering liknande de som görs i andra länder med satsningar på Visual Analytics.

4.10 INFORMATIONSSYSTEM- OCH DATABASTEKNIK

Att söka efter information med t.ex. Google på nätet är numera uppskattad vardagsvara för de flesta. Man kan se nätet som en stor distribuerad databas av mer eller mindre strukturerade dokument och webbsökning går ut på att hitta de dokument man är intresserad av.²⁴

Emellertid produceras det mycket stora datamängder också utanför webben, t.ex. klimatdata, fordonsdata, bio- och genbanksdata, medicinska mätdata, data från satelliter och radioteleskop, data från acceleratorer, data från simulatorer, etc. Man kallar ibland dessa data hidden web. Vi skulle kunna kalla dem **skymda data** på svenska, eftersom man inte direkt kan få tillgång till dem via webben utan de ligger i system utanför webben. Att komma åt dessa data kan vara mer eller mindre svårt beroende på hur bakomlig-

Det är en stor utmaning att möjliggöra sökning inte bara på webben utan också bland skymda data.

gande system och gränssnitt är utformade. Webben möjliggör dock i princip global tillgång till också dessa data. Man kan också konstatera att teknikutvecklingen med allt fler inbyggda system resulterar i att mängden skymda data ökar mycket snabbt.

Det är en stor utmaning att möjliggöra sökning inte bara på webben utan också bland skymda data. Att snabbt kunna hitta

information också bland skymda data skulle kunna ge också stora potentialer för nya produkter och nya sätt att bedriva industriell produktion. T.ex. kan man, med snabb och relevant sökning bland de stora mängder digitala data som produceras i mätinstrument, motorer, och maskiner av olika slag, snabbare identifiera problem med produkter och därmed öka kvalitet och servicegrad. Sökning bland miljö- och vetenskapliga mätdata identifierar miljöpåverkan och ökar förståelsen av omgivningen. Sökning bland biologiska och patientdata ger bättre förståelse av hälsoförlopp, etc.

Forskning inom detta område är mycket utmanande p.g.a. den enorma volymen producerade data. Som jämförelse kan nämnas att redan idag har Google mycket stora krav på skalbarhet för sina system, vilket i sin tur ställer stora krav på systemdesign. T.ex. måste man utveckla databaser som har mer än en miljard användare, vilket är betydligt mer än vad klassiska databashanteringssystem varit avsedda för. För att utveckla sådana system

23. Illuminating the Path.
<http://nvac.pnl.gov/agenda.stm>

24. Detta avsnitt är skrivet av professor Tore Risch, inst f informationsteknik, Uppsala universitet, på panelens uppdrag.

är det inte tillräckligt att kombinera olika systemkomponenter från olika leverantörer i en »mjukvarualgebra» och sedan dokumentera algebran på hög nivå med t.ex. UML-diagram. Man måste också förstå hur olika komponenter uppför sig och interagerar med varandra och om de ens är användbara för uppgiften. Det är heller inte tillräckligt att bara tillhandahålla stora mängder grundläggande hårdvara, nätverk, och operativsystem och låta programmerare och kompilatorer sköta resten. Med attityden »it's only bits anyway» fastnar man lätt i grundläggande systemunderhåll av all ny hårdvara. Vad som behövs är förståelse på alla nivåer av hur man utvecklar verkligt skalbara system.

Från mjukvarusynpunkt kräver detta nya typer av generella söksystem som är både skalbara, ochsom kan arbeta i samklang med sökmotorer, webbgöransnitt, databassystem, beräkningssystem, operativsystem, etc. System som kombinerar data från delsystem måste ha inbyggd kunskap om hur underliggande delsystem uppför sig, enbart algebra och gränssnittsspecifikationer är inte tillräckligt. I många fall kan man inte exakt förutse hur ett underliggande system uppför sig, när t.ex. nätets kapacitet varierar, radioöverföringar bryts eller delsystem blir överlastade. Söksystemet måste kunna anpassa sig till sådana »oförutsedda» situationer. Ofta finns alternativa källor när en datakälla är otillgänglig, om än med varierande kvalitet. En annan viktig faktor är säkerhet och integritet hos datakällor så att inte data söks otillbörligt eller förvanskas.

En stor del skymda data produceras i form av mätvärden i form av stora dataströmmar, t.ex. från satelliter, fordon, miljösensorer, acceleratorer, industriella system och trafikövervakningssystem. Man vill kunna söka också bland dessa s.k. **strömmande data**. För sådana sökningar har man under senare år börjat forska på och utveckla en ny typ av datahanteringssystem, s.k. dataströmhanteringssystem (DSMS). DSMS har liknande egenskaper som konventionella databashanteringssystem genom att de också tillhandahåller skalbar sökning bland stora mängder data. Skillnaden är att i DSMS kommer en del data från strömmar i.st.f. från diskfiler och att strömmarna är oändliga, vilket påverkar det sätt data hanteras och hur frågor ställs. I ett DSMS arbetar man med s.k. stående frågor (»continuous queries») som levererar strömmar som svar så länge de är aktiverade. Vidare är datavolymlkraven, både vad det gäller sökning och dataproduktion (motsvarar uppdatering), helt andra än för konventionella administrativa databaser.

Den stora mängden data som produceras genom webben ger, som bekant, svårigheter att hitta önskvärd och korrekt information snabbt. Inte bara webbsidor utan också skymda data introducerar data i massor av olika utföranden. Detta gör det ännu svårare att hitta korrekt information snabbt, inte bara för människor utan också för automatiserade system. Sedan länge har man därför insett att det finns behov av **metadata** som beskriver egenskaper hos tillgängliga data och kan användas som en »karta» när man söker efter information. Hantering av metadata hos konventionella databashanteringssystem (s.k. databasscheman) har varit av central betydelse för databasteknikens framgång. I ett databassystem används metadata för att beskriva statistik, format, distribution och andra egenskaper hos olika typer av lagrade data, vilket möjliggör effektiv och skalbar sökning.

Den semantiska webben syftar till att tillhandahålla metadata-beskrivningar för webbdataba, som ofta kallas ontologier, och liknar databasscheman. T.ex. open directory (<http://directory.google.com/>) tillhandahåller sådan klassifikation av webbdataba för mer områdes-specifik sökning. Till skillnad från relationsdatabaser har man bara delvis strukturerade data (»semi-structured data»), snarare än välstrukturerade tabeller. Detta tillåter att man söker bland både meta-data och andra data vilket ställer nya krav på datahanteringen.

Sökning bland skymda och strömmande data ställer ytterligare krav på metadatahanteringen. Söksystemet måste innehålla tillräcklig kunskap om egenskaper hos skymda data och de system som hanterar skymda data för skalbar sökning.

4.11 DRIFT OCH UNDERHÅLL

Området drift och underhåll är ingen traditionell akademisk disciplin, och skiljer sig därmed mot de disciplinära metodforskningsområden som har presenterats hittills. Området har flera olika disciplinära bottnar, men panelen vill hävda att området förtjänar egen uppmärksamhet eftersom områdets betydelse har ökat markant med utvecklingen mot alltmer komplexa system.

Att effektivt och smidigt sköta drift och underhåll av fabriker, utrustning, fordon och stora komplexa system blir allt viktigare. Den tillförlitlighet, tillgänglighet, flexibilitet och stabila kvalitet i produktionen som detta ger, anses av många industriföreträdare som den viktigaste konkurrensmöjligheten som står till buds.

IKST har en central roll i detta. Tekniken ger nya sätt att extrahera relevant och värdefull information ur alla de givare, sensorer, historiska data och samband som finns i moderna system. Den hjälper till att snabbt och automatiskt upptäcka, diagnostisera och hitta källan till exempelvis en störning. Vidare ger tekniken systemen möjlighet att utvärdera påverkan av det inträffade och att »på egen hand» minimera negativ påverkan på omgivningen och produktionen på ett snabbare och effektivare sätt än hittills, exempelvis genom att isolera avvikelser, och genom att försöka distribuera ut eventuellt bortfall på omgivningen. Den möjliggör en helt ny nivå av dynamisk optimering och anpassad, flexibel produktion och underhåll. Den ger nya möjligheter att smidigt koppla samman olika delar av en organisation och balansera deras behov. Den här typen av systemlösningar och förbättringar kan snabbt och direkt omsättas i reda pengar, i bättre konkurrensförmåga och i bättre förutsättningar att behålla produktionen i högkostnadsländer som Sverige.

Svensk industri har ett stort behov och intresse för nya metoder för drift och underhåll, dock kombinerat med en viss försiktighet. Nya metoder löser ofta vissa problem men skapar ibland andra. För industrin är det mycket viktigt med stabila helhetslösningar. Vi behöver därför utveckla idéer och metoder från tankeembryon hela vägen till testade och verifierade lösningar som passar in och som håller hela vägen i industriella tillämpningar. För detta krävs såväl nydanande grundforskning som mer industrinära och tillämpad forskning.

Även ur ett akademiskt perspektiv är intelligent drift och underhåll ett intressant område. De praktiska utmaningarna kräver lösningen på många teoretiskt intressanta och nya problem inom exempelvis optimeringslära, kommunikationsteknik, statistik, systemmodellering, reglerteknik, maskininlärning och diagnostik. I synnerhet handlar det om att utveckla gränsområden, såsom där dataanalys och probabilistisk optimering möts, eller i kombinationen av kommunikationsteknik och diagnostik.

Sverige ligger långt fram vad gäller automation och styrning, och strävar att positionera sig för att ta en framträdande roll vad gäller effektivt underhåll och drift. Förutsättningarna för detta finns, eftersom nödvändig hårdvara och infrastruktur i högre utsträckning än i andra länder redan är på plats i Sverige, liksom att industrins teknikkunnskap och mottaglighet för avancerade lösningar och nya arbetssätt är stor efter flera års ansträngningar i denna riktning. Samtidigt är akademien väl positionerad inom de nödvändiga disciplinerna. Att priserna på den extra hårdvara och infrastruktur som behövs har sjunkit drastiskt under de senaste åren samtidigt som dess kapacitet har mångdubblats medför att det i dag är möjligt att relativt billigt kunna skapa helt nya underhållssystem och nya metoder att bedriva

Möjligheten för Sverige att lyckas nå en framträdande position inom underhåll och drift av komplexa system är alltså ganska goda.

underhåll på än för bara några få år sedan. Möjligheten för Sverige att lyckas nå en framträdande position inom underhåll och drift av komplexa system är alltså ganska goda.

Man kan också notera att behovet av att lyckas nå en framträdande position inom dessa områden är ovanligt stort i Sverige.

För att kunna möta konkurrensen från andra länder har nämligen

svensk industri i stor utsträckning satsat på specialiserad produktion med högt förädlingsvärde inom relativt smala nischer. Trenden går också mot alltmer kundanpassad produktion, där en stor del av arbetet går ut på att specialanpassa en produkt till kundens förhållanden och kunna garantera precisa leveranser. En relaterad trend är att gå över till helhetsåtaganden, där man istället för att sälja en specifik produkt, säljer en »funktion» inklusive underhåll och drift. I denna utveckling är det tydligt att det är ännu viktigare med såväl den flexibilitet och effektivitet, liksom den leveranssäkerhet, robusthet och exakthet, som avancerade drift- och underhållssystem kan ge.

Eftersom drift och underhåll är så viktiga komponenter i svensk industris konkurrenskraft, så är det viktigt att vi utnyttjar läget, riktar in oss, och skaffar oss det goda försprånget inom dessa områden som vi faktiskt har möjlighet till.

Utvecklingen mot mer avancerade metoder för effektivt drift och underhåll har pågått i flera år, men har på sista tiden formligen exploderat i olika metoder och angreppssätt. Exempel på benämningar är tillståndsbaserat underhåll, prediktivt underhåll, opportunistiskt underhåll, resource levelling, plant-wide control, supply-chain optimization, self-management, autonomic communication, etc. Alla har det gemensamt att de försöker komma bort ifrån dagens fasta scheman och försöker koppla samman och bättre utnyttja informationen från allt större delar av produktionssystemet.

Idéexplosionen sker både inom den akademiska och industriella världen. Vissa branscher har varit snabbare än andra på att anamma dessa metoder. Medvetenheten inom industrin generellt om att detta behövs är mycket stor, men samtidigt råder på många ställen en stor osäkerhet om hur det ska kunna införas i praktiken. De satsningar som görs är ofta punktvisa och specialiserade till något delsystem. Det finns även en utpräglad misstro mot att låta systemen gå från att vara mer eller mindre automatiserade till att låta systemen själva anpassa sig till nya förhållanden snarare än att vara förprogrammerade för olika scenarios.

Trycket att införa dessa nya tekniker varierar mellan länder, och kan lätt uppfattas som betydligt mindre i lågkostnadsländer. Allteftersom deras kostnader ökar så ökar dock också investeringsviljan inom dessa områden. De yngre industrinationerna bygger också i högre grad helt nya anläggningar, och kan då samtidigt lätt inkludera den nya tekniken. Här finns ett potentiellt hot att vi kan bli omsprungna av de yngre och mer expanderande industrinationerna. Dock försvinner en del av låglöneländernas konkurrensfördel med en ökad nivå av automatisering och själv-managering av systemen.

Utvecklingen inom styr- och produktionsplaneringssystem går också mycket snabbt. De dataanalys-, optimerings- och planeringsproblem som uppstår är ofta mycket komplexa. Här finns en möjlighet att utnyttja det mångåriga kunnande inom datalogi, simulering, optimering etc. som finns i Sverige.

Man kan identifiera ett antal områden, som både innebär stora industriella behov och rika möjligheter till avancerad forskning. Här följer några av dessa.

Behovsbaserat underhåll. För att möta ökade krav på pålitlighet och tillgänglighet samtidigt som komplexiteten i systemen ökar, krävs bra hjälpmedel, effektiva rutiner och en effektiv organisation för underhåll. Som nämns ovan finns många angreppssätt, och

fortfarande återstår mycket att göra inom detta område. Här krävs helhetsgrepp som inkluderar alla steg i underhållskedjan: Tillståndsovervakning (både för att uppskatta normalt slitage och detektera avvikelser som behöver åtgärdas), diagnos och orsaksanalys av upptäckta avvikelser, prognos av såväl komponenters livslängd som utvecklingen av störningar, val av lämpliga åtgärder, samt gruppering av åtgärder på ett sätt som minimerar antalet verkstadsbesök, servicestopp eller ingrepp. Utveckling måste ske på flera nivåer, alltifrån rent algoritmiskt till organisatoriskt, för att möjliggöra praktisk användning.

Dynamisk planering. Dagens industri kräver en mycket mer flexibel och dynamisk planerad produktion. Orsakerna är både större kundanpassning, minskade marginaler, och allt större krav på att snabbt kunna reagera på störningar eller andra förändringar, som exempelvis ändrade råvarupriser eller missade leveranser. Kopplat till föregående punkt kan också nämnas att tillståndsbaserat och prediktivt underhåll visserligen i sig sänker mängden underhållsåtgärder, men det skapar också en störande osäkerhet i planeringen. Först när denna typ av underhåll kombineras med effektiv dynamisk omplanering, kan den fulla potentialen med behovsstyrt underhåll uppnås. Oavsett orsaken till störningarna har den som snabbast och bäst kan reagera på förändringar och osäkerhet en stor konkurrensfördel. Här krävs såväl nya algoritmer och tekniker för exempelvis dynamisk omplanering, samordnad planering, och stokastisk optimering, liksom utveckling av de nya arbetssätt som detta innebär.

Ökad systemförståelse. I anslutning till ovanstående kan det också vara värdefullt med angreppssätt som ger ökade insikter och kunskaper om de system som ska hantearas, och bidrar till ökad styrbarhet. Här kommer metoder för fysikaliska, funktionella och statistiska modeller in, liksom metoder för effektiv simulering och modellåteranvändning. Avancerade metoder för data-mining och visualisering är andra exempel.

Övergripande lösningar. Idag delas verksamheten i industrin oftast upp i ett antal separata ansvarsområden, som t.ex. inköp, försäljning, produktion och underhåll. Mycket kan idag vinnas på att bryta upp denna indelning och se problemkomplexet från nya håll. För optimal verksamhet krävs en intensivare, smidig samordning av dessa områden. Här krävs stora insatser inom bland annat distribuerad optimering, informationsintegrering, situationsöverblick, och samplanering. Utveckling av de nya arbetssätt och rutiner som följer av denna förändring krävs också.

Autonoma självhanterande system. Många av dagens system är mer eller mindre automatiserade, där maskiner utför fler och fler moment som tidigare utfördes av människor. Dock är dagens system fortfarande uppbyggda som ett centraliserat system som samlar in data från många olika sensorer och mätpunkter för att sedan sortera, analysera och sedan presentera status för någon användare, ev. med ett lösningsförslag på hur en situation kan åtgärdas. Nästa steg som behöver tas är att låta systemen bli mer självhanterande, mer autonoma, där systemen själva internt kan »förstå» vad som pågår, vad som behöver förändras och sedan om möjligt genomför dessa förändringar utan någon yttre inblandning. Systemet rapporterar vad det har vidtagit för åtgärder, varför dessa vidtogs och om något behöver göras av någon extern person, t ex byta fallerande hårdvara. För att lyckas med en sådan här utformning av stora, föränderliga system, så behöver de olika delarna i systemen få större möjligheter att kunna kommunicera direkt med varandra, och samtidigt tillåtas ta större ansvar både för sig själva och för sin omgivning. Om t.ex. en delenheter (en kommunikationsnod) fallerar så skall den nodens arbete automatiskt kunna distribueras ut över de omkringliggande enheterna, så att produktionen inte påverkas mer än nödvändigt, innan ett meddelande skickas till en operatör att denna nod har fallerat och behöver bytas. De senaste årens teknikutveckling inom hårdvara, kommunikation och infrastruktur har möjliggjort att sådana här system kan byggas, nu är det dags att utforska hur man skall bygga dem.

5. Utvalda tillämpningsområden

I detta avsnitt beskrivs de tillämpningsområden som panelen har utvalt.

5.1 TELEKOM

Telekom omfattar i detta sammanhang ett betydligt större område än traditionell telefoni. Naturligtvis ingår mobiltelefoni och mobil datakommunikation liksom Internet och en mångfald av tjänster. Väsentliga delar av telekom är:

- Accessenheter som telefoner (fasta och mobila), modem och andra utrustningar för att ansluta kundens specifika enheter till accessnätet. I viss utsträckning får vi också räkna datorer till telekom, åtminstone kommunikationsdelarna och de tjänster som nyttjar kommunikation. Var gränsen går mellan en avancerad mobiltelefon och en bärbar dator är mer en fråga om storlek än funktionalitet.
- Accessnät i olika former som koppar, fiber, radio och de noder och teknologier som krävs för att överföra information och eventuellt mellanlagra den t ex cachning.
- Kärnnät som förbinder olika accessnät med varandra och central utrustning t. ex. servrar i nätet samt de noder t. ex. routrar som krävs för att förmedla trafiken.
- De telekomtjänster som slutanvändarna nyttjar t ex traditionell telefoni (fast och mobil), text (SMS, chat etc), bild, video, musik och datakommunikationstjänster. Näst på tur står distribution av radio- och TV-program.
- Drift och underhåll av nät och tjänster.

Det bör betonas att en stor del av funktionaliteten implementeras i programvara och protokoll. Telekomindustrin är i stor utsträckning en programvaruindustri.

Viktiga aktörer inom telekom är:

- Slutanvändare t. ex. privatpersoner, företag, och offentlig förvaltning.
- Operatörer såväl mer traditionella telekomoperatörer som bredbandsleverantörer (s.k. ISP:er) och rena tjänsteoperatörer. Observera trenden mot att dela upp telekom i infrastruktur respektive tjänster i analogi med Banverket respektive SJ för tågtrafiken. Denna trend kan förväntas fortsätta och leda till att ytterligare nischer skapas.
- Tredjepartstjänsteleverantörer som t.ex. Google, Eniro m. fl. Flera traditionella telekomoperatörer kämpar emot och försöker erbjuda dessa tjänster själva eller genom avtal med t. ex. Yahoo. Andra har gett upp och tillhandahåller bara en ren access.
- Bolag som driver och underhåller telekomnät (ofta leverantörer).
- Leverantörer av telekomutrustning och nätfunktioner.
- Leverantörer av tjänster.

Telekomsektorn är av stor vikt för många samhällsfunktioner, såväl privata som offentliga. Många personer i Sverige arbetar inom telekomsektorn. Telekom är också en global industri. Flera stora och små svenska företag arbetar globalt liksom det i Sverige finns flera utländska telekombolag. Industrin är dessutom i mycket stor utsträckning baserad på globala standarder, beslutade i standardiseringsorgan som t ex 3GPP eller IETF. Allt detta gör att vi i Sverige i mycket stor utsträckning måste följa de globala trenderna inom telekom. Speciella lösningar för Sverige skulle oftast bli alldeles för dyra. Såväl för mobiltelefoner som för datorer och nätutrustning gäller att stora volymer krävs för att ge

tillräckligt låg kostnad för slutanvändarna, och globala standarder har varit en verksam väg att nå dit.



5.2 FORDONSINDUSTRIN

Fordonsindustrin är en av Sveriges viktigaste industrigrenar. Främst märks de två personbilstillverkarna Volvo Personvagnar AB och Saab Automobile samt de två tillverkarna av tunga fordon AB Volvo och Scania. Därutöver finns ett hundratal underleverantörer, varav några större (Autoliv, Finnveden och Haldex). Branschen sysselsätter drygt 140 000 personer i landet. Fordonstillverkarna omsätter ca 340 miljarder kronor årligen och leverantörerna ca 110 miljarder. Exporten uppgår till 139 miljarder kronor årligen, vilket motsvarar ca 15 % av den totala exporten och gör fordonsindustrin till den största enskilda exportbranschen. År 2004 tillverkade de svenska företagen globalt ca 600 000 personbilar, 240 000 lastbilar (eller 20 % av världsproduktionen av tunga lastbilar) och 14 000 bussar. De svenska fordonstillverkarna satsar tillsammans kring 20 miljarder på forskning och utveckling årligen.

Utöver produktionen av vägfordon finns i landet även produktion och utveckling av rälsfordon (Bombardier), anläggningsmaskiner (Volvo Construction Equipment), stridsfordon (BAE Systems Hägglunds), skogsmaskiner (Komatsu Forest), och gruvmaskiner (Sandvik). Även om dessa produkter skiljer sig på många punkter från vägfordon används liknande tekniska lösningar när det gäller datorsystem, mjukvara och elektronik.

Inom fordonsbranschen används datorsystem och mjukvara för allt fler tillämpningar. Att förhindra olyckor eller minska skadorna har högsta prioritet och här är inbyggda system och sensorteknik av avgörande betydelse. Även när det gäller ökad energieffektivitet och minskad miljöpåverkan spelar styrsystemen en central roll, då allt mer förfinad förbränningsteknik och hybriddrivlinor är beroende av sofistikerade reglersystem. För att effektivisera transporterna och förbättra kundernas upplevelse utvecklas också informationssystemen för förare och passagerare ständigt. I dessa ingår telematiksystem där fordonet via trådlös uppkoppling ansluter sig till andra externa system. Eftersom det rör sig om en mogen och starkt konkurrensutsatt bransch är marginalerna förhållandevis små, vilket ställer stora krav på kostnadseffektivitet både när det gäller att hålla nere priset på själva produkten och avseende resurser i utvecklingen. Samtidigt är kraven oerhörda på kvalitet och driftssäkerhet.

En modern personbil kan idag innehålla upp till ett sextiototal mikroprocessorer, som är sammankopplade i ett nätverk. Tillväxten på detta område har varit dramatisk det senaste decenniet, och numera är snart sagt all ny funktionalitet beroende av detta informationssystem. Det är inte troligt att mängden datorer i fordonen kommer att fortsätta att öka i samma takt, men mängden funktioner väntas fortsätta växa. Konsekvensen av detta är att allt mer tillväxt kommer att ske i mjukvara, och fordonsindustrin står inför enorma utmaningar att hantera den komplexitet detta kommer att medföra. Speciellt för fordonsindustrin är också att mycket av mjukvaru- och elektronikutvecklingen sker hos underleverantörer, utifrån fordonstillverkarnas specifikationer. Detta medför stora krav på specifikationer men också på metodik för integration och verifiering. Utöver själva produkterna används avancerade datorsystem och mjukvara i utvecklingsverktyg, för att styra tillverkningsprocessen, samt för service och underhåll, där fordonets möjlighet till självdiagnos har förbättrat både tillgängligheten och minskat stilleståndstiden för felsökning.

Fordonsindustrin har stort behov av forskning inom många områden relaterade till informations-, kommunikations- och systemteknik samt mjukvara. Att de inbyggda systemen blir mer komplexa och utför mer avancerade uppgifter ökar kraven på kunskap och teknologi inom områdena inbyggda och autonoma system, systemarkitektur, sensorteknik och sensornät. För att klara utvecklingen av systemen på allt kortare tid är simulering

och beräkningsteknik viktigt, liksom systemtekniska och programvarutekniska metoder. Förargränssnitten blir mer avancerade och är också ett sätt för företagen att profilera sig, och det gör simulatorteknik och interaktionsdesign till centrala områden för framtiden. Intelligentare drift och underhåll slutligen kan ge stora förbättringar i kundtillfredsställelse och användarekonomi.

Satsningar på forskning inom teknologier relevanta för fordonsindustrin har stor potential att även komma andra branscher tillgodo, då fordonsindustrins produktionsvolym och prispress gör att lösningar också blir ekonomiskt gångbara även i många andra sammanhang. Fordon tillhör de mest komplexa produkterna i samhället idag, och metoder utvecklade inom branschen är därför värdefulla även i andra verksamheter som sysslar med komplexa och inbyggda system. Den starka konkurrensen och de svenska tillverkarnas betydelse för landets ekonomi talar också för vikten av satsningar på området.



5.3 PROCESS OCH AUTOMATION

Industriell automation betyder mycket för Sveriges industri idag. Hela den traditionella processindustrins framgång bygger på effektiv styrning och kontroll av processerna för att minska fel och avbrott i produktionen. Förutom processautomation, som handlar om att styra en kontinuerlig process, finns diskret automation, där en automationslina består av ett antal produktionssteg. Biltillverkning är ett tydligt exempel på diskret automation.

Typiska krav på automationssystem är att de ska vara i drift hela tiden med få avbrott. Detta ställer stora krav på mjukvarusystemen genom att dessa ska vara tillgängliga, pålitliga, underhållbara, säkra, och ha hög integritet.

Tillgängligheten är viktig eftersom systemet ska vara i drift under så stor del av sin livstid som möjligt. Blir det ett fel i systemet ska detta repareras snarast för att säkerställa tillgängligheten. I vissa fall kan en lösning vara att byta ut den icke fungerade enheten under tiden som reparationer utförs, men detta är inte praktiskt när det gäller mjukvara. Ett utbyte mot en identisk produkt medför också att felet finns kvar och även den nya enheten kommer att falla eftersom indata från processen inte ändras.

Pålitlighet är den egenskap som säkerställer att en produkt inte slutar fungera under drift, eller att inte fel styråtgärder vidtas. Pålitliga system behöver inte alltid vara tillgängliga men tillgängligheten förbättras om man har pålitliga delsystem. T.ex. går det att stänga av en robotautomationslina för bilsvetsning för underhåll, men den får inte svetsa fel eller stanna under drift, alltså hög pålitlighet.

Eftersom ett industriellt automationssystem ofta ska vara i drift 10-15 år behöver systemen vara underhållbara. Nya revisioner av styrsystem måste kunna hanteras i tillverkningsprocessen. Ofta ställs det krav på att nya versioner av mjukvara ska kunna uppdateras under drift, vilket ställer höga krav på hur man designar och utvecklar automationsprogramvaran. Vid uppgradering av ett styrsystem är det också av vikt att befintliga kundanpassade tillämpningar, ofta stora investeringar i ingenjörstid, kan föras över till det nya systemet.

Ett industriellt system måste vara säkert. Det får inte orsaka skada på människor eller miljö, ens vid ett eventuellt felaktigt handhavande. Ett sätt att öka personsäkerheten är att avgränsa den industriella processen från personal. I dagens robotlösningar ser man inte sällan att industrirobotarna placeras inom områden avgränsade med galler, även kallade robotceller. Detta är dock inte optimalt eftersom användningsområdet för roboten begränsas och ny forskning har visat att det är möjligt att få en robot att samverka med människor på ett säkert sätt.

ABB:s två divisioner inom processautomation och robotautomation är världsledande och med en stark svensk bas. Tekniken i dessa områden utvecklas huvudsakligen i Sverige och det finns även kompetensmässiga fördelar eftersom andra områden t ex telekom

och fordon har liknande krav på systemen. Detta gör det möjligt för personal att rotera mellan icke-konkurrerande företag inom Sverige till gagn för svensk industri.

De största aktörerna inom automationsområdet finns i Japan, USA och Tyskland. I dessa länder har man både ett högt kvalitetstänkande och stor erfarenhet av att använda industriell automation för att öka produktionen och minska användandet av dyr handkraft. Siemens, Honeywell, Yokogawa och Emerson är störst inom process automation. För robotkontroll är Yaskawa, Fanuk och Kuka de största konkurrenterna till ABB:s svenska robotdivision.

Forskning inom detta område bör fokusera på att ta fram Industriella automationssystem med hög integritet som inte ska kunnas sättas ur spel genom yttre påverkan. Därför är intrångssäkerhet av högsta vikt i dess system. En vanlig lösning är att inte ha någon koppling alls från styrsystemet till yttre världen. Dock visar det sig att det finns stora värden i att kunna övervaka och till och med styra processerna från centrala centra i världen vilket ofta gör att dessa system har indirekta kopplingar mot Internet som skulle kunna utnyttjas av illvilliga. Förutom integritet mot omvärlden krävs också att själva styrningen av processen endast görs av behörig personal. Industriella system har därför som krav att det finns flera användarklasser och att det är möjligt att spåra vem som gör vad i systemet.



5.4 RÅVARUINDUSTRI

Skog- och träindustrin utgör tillsammans med metallurgi-industrin två mycket viktiga basindustrier för Sverige. Utan att överdriva kan man hävda att dessa svenska industrier är stormakter inom respektive område i världen.

IKST(m) har fått en ökad betydelse och ger också många nya möjligheter inom dessa områdena när den internationella konkurrensen hårdnar. Satsningar på ökad utvecklad och integrering av IKST(m) kan stärka råvaruindustrin ytterligare på en rad områden. Den följande beskrivningen har ett skogstekniskt fokus i framställningen av behov och möjligheter. Synergier med IKST(m) är dock likartade inom gruvtekniken.

Dagens skogsmaskiner är ytterst komplexa system där föraren har en rad användargränssnitt och styrfunktioner att hantera. Föraren arbetar under krävande förhållanden under ständig press: i ensamhet, långt ifrån bebyggelse, och ofta i kyla. Med mer utvecklad interaktionsdesign av förarmiljön samt simulatorträning på nya maskiner kan förarens värld väsentligt förbättras. Moderna skogsmaskiner är i stor utsträckning beroende av tillgång till kommunikationsnät, för förarens säkerhet, för tillgång till arbetsinstruktioner osv. Ett stort problem i nuläget är låg överföringskapacitet, eller rent av helt obefintliga nätåtkomsten i otillgängliga skogar.

Automation har en tydlig koppling till förarens arbetsmiljö, och ökad automation gör att föraren kan få avlastning. Automation av kransekvenser är ett exempel. Ett område med stor potential uppstår om maskiners rörelser i den komplexa miljö som en avverkningsyta utgör, kan utföras automatiskt i en optimerad bana med hänsyn till avstånd, framkomlighet, och naturhänsyn. Det skulle radikalt sänka kostnaderna, t.ex. drift och markslitage vid avverkningar samt underlätta förarens arbete genom minskat behov av planering, och navigering. Liksom i många andra fordon av i dag är sensorsystem absolut centrala för skogens maskiner. Tillsammans med mer avancerad mjukvara som modellerar inkommande sensordata och interagerar med maskinens styr- och reglersystem kan dessa ge ännu mer autonoma skogsmaskiner.

Med förbättrad fjärranalys och bildanalys kan virkesutnyttjandet öka, och öka specialiseringen i det urval av virkesråvara som kunder kan efterfråga. Robusta system för skanning och bildanalys skulle möjliggöra beröringsfri mätning av trädstammars dimensioner, form och virkesegenskaper. Detta har stor betydelse för massaindustrin då andelen mindre lämplig råvara för en specifik industri skulle minskas.

Logistiken är central inom modernt skogsbruk idag, och den har starka krav på sig att vara optimerad utifrån både kunders krav och miljöhänsyn. Inom detta område skulle olika typer av beslutsstöd ge stora möjligheter för skogbolagen. Genom att integrera t.ex. väderdata i beslutsstöden kan transportflöden och liknande radikalt förbättras. Dåliga vägar, och oframkomlig mark på grund av t.ex. översvämningar är ett ökande problem för skogsnäringen. Det finns också behov av uppföljning och spårning av skogens produkter. En framkomlig väg skulle kunna vara en utvecklad användning av RFID-taggar inom denna näring. RFID-taggar på träd och virke ger nya möjligheter dels för fjärrstyrd datamonitorering av skog, dels att följa virkets väg under transport eller för spårning av virkesursprung osv.



5.5 FLYG OCH RYMD

Flyg- och rymdindustrin har varit en viktig bidragsgivare till IKST-utvecklingen sedan datorernas barndom. Det var sålunda Datasaab som utvecklade datorsystem för Viggens styrsystem, och viktiga teknologier för digital mobiltelefoni hade också sitt ursprung just i Viggens-projektet. Sverige har ett gott renommé på området i världen på grund av ett gediget systemperspektiv och en omfattande helhetssyn. År 2005 omsatte den svenska industrin 20 miljarder med en export omfattande hälften av detta belopp, och med i huvudsak civil inriktning. De främsta svenska företagen inom området är Saab, Volvo Aero Corporation, Ericsson Microwave Systems, Saab Ericsson Space samt Rymdbolaget. Företagen har nära samarbeten med både akademien och statliga myndigheter som FOI.²⁵

Det främsta svenska styrkeområdet är systemteknik där det här handlar om att balansera prestanda, vikt, kostnad, utformning och placering av inbyggda system, nyttolast, underhållssystem, m.m. samt att utveckla dessa. Den svenska industrin är också stark inom interaktionsdesign, t.ex. utformningen av olika operatörsgränssnitt i t.ex. en cockpit.

Beslutsstöd är ett annat viktigt område där det för en pilot handlar mycket om att få rätt lägesbild av verkligheten, ofta baserat på så kallad informationsfusion. På lägre nivåer är dessa beslutstöd framgångsrika, t.ex. kan man väga samman radarplottar för att upptäcka andra flygplan, men ett mer komplext beslutsstödssystem där data från en mängd sensorer, ofta med motstridig information, skall vägas samman med mänskliga rapporter och strids/flygledning på marken är betydligt mer krävande. Här uppträder både mer klassiska datatekniska frågor för att hantera datafusionen såväl som interaktionsdesign för att presentera informationen för en användare i en mycket kritisk miljö, och dessutom integrera ledningsvetenskap för att ge användaren en god uppfattning om vad som faktiskt skall utföras.

Svensk industri och forskning har också kommit långt när det gäller användningen av autonoma system t.ex. för obemannade farkoster där farkosten själv skall kunna reagera på en mängd ändrade förutsättningar i miljön. Obemannade farkoster har både militär och civil användning. Civilt kan det t.ex. handla om övervakning av områden som är farliga på grund av strålning. Gröna inflygningar är ett annat område där ökad autonomi i navigationssystemet möjliggör miljövänligare landningar.

Sensorsystem är ytterligare ett stort område inom flyg- och rymd, och de hårda drifts- och säkerhetskraven inom området utvecklar tekniken inom civila telekommunikationssystem. Sensorintegration är viktigt och det gäller att utveckla system där sensorerna samverkar utan att störa varandra eller andra system i farkosten. Signal- och databehandling med realtidskrav är också viktigt för sensorsystemen liksom för styr- och övervakningssystem.

Drift och underhåll är centralt för området och omfattar ett livscykelperspektiv på produkterna men också drift av system som sänder upp raketer och ballonger i rymden, samt styrning av satelliter och mottagning av data från dessa.

25. Detta avsnitt baseras till stor del på rapporten Flyg- och rymdindustrin: En del av det innovativa Sverige (Näringsdepartementet, 2005) samt på en hearing med experter från Saab och FOI.

Styrssystem, elektroniksystem och mekaniska system är i stor utsträckning beroende av avancerad mjukvara, och här har vi sett goda exempel på svenskt systemkunnande allt sedan Viggen byggdes.



5.6 UPPLEVELSEINDUSTRI

Begreppet »upplevelseindustri» är inte särskilt väldefinierat, men det fungerar ändå i det här sammanhanget som ett samlingsbegrepp. Vi använder KK-stiftelsens definition, där upplevelseindustrin omfattar följande delområden: arkitektur, dator- och tv-spel, design, film, foto, konst, litteratur, marknadskommunikation, medier, mode, musik, måltid, scenkonst, turism och besöksnäring, och upplevelsebaserat lärande. Internationellt används oftast begreppet »creative industries.»

Oavsett den exakta benämningen står det klart att vi talar om ett område i stark tillväxt. Några siffror från KK-stiftelsen, om än en smula gamla, kan belysa detta. Upplevelseindustrin stod 2001 för 4,8 procent av Sveriges BNP och sysselsatte cirka 280 000 personer, eller 7 procent av den totala arbetsstyrkan. Den årliga tillväxten 1995–2001 var i snitt 6,4 procent. Året efter hade upplevelseindustrin växt med 1 procent i förädlingsvärde, antalet anställda hade minskat med knappt 3 procent, men antalet företag hade ökat med drygt 5 procent.

Enligt Statens Kulturråd ökade kulturkonsumtionen i Sverige under 1985–99 från 26 till 37 miljarder kronor, vilket visar på den generella uppgången för kreativa och kulturella näringar. Kulturkonsumtionens tillväxt är uppenbart relevant för upplevelseindustrin, som ju utgår från de kreativa och kulturella produkter som skapar upplevelser i mötet med konsumenten. Utvecklingen under 2000-talets första år bedöms ha varit likartad.

Inom upplevelseindustrin kan vi identifiera ett antal delområden, eller branscher, där användningen för och behovet av forskning och utveckling inom IKST(m) är betydande. De branscherna är dator- och tv-spel, design (av digitala konsumentprodukter), film, medier och musik. I de följande styckena går vi närmare in på dessa branscher för att diskutera deras tillväxtpotential och FoU-behov inom IKST(m).

Dator- och tv-spel är en liten näringsgren i Sverige (800–1000 anställda) men den växer snabbt (enligt Exportrådet ligger den årliga tillväxten stadigt på 25 procent) och den måste sägas ha hög profil och stort genomslag. Även internationellt tillmäts dator- och tv-spelsbranschen stor ekonomisk och kulturell betydelse. Nya områden av växande betydelse utöver den traditionella, rent underhållningsinriktade spelbranschen är spel för lärande, socialt umgänge, och marknadsföring. Viktiga FoU-områden inom IKST(m) för dator- och tv-spelsbranschen är simulering, beräkningsteknik och diskret matematik (inklusive t.ex. simulering av gravitation och andra fysikaliska fenomen i 3d-världar med realtidspresentation, och effektiva grafikalgoritmer) samt Software engineering (för att möta höga krav på prestanda, hållbarhet och modularitet liksom på snabba utvecklingsprocesser med hög grad av återanvändning) och Interaktionsdesign (för spelupplevelse, »gameplay», sociala kvaliteter i multiplayer-spel, och pedagogiska kvaliteter i »serious games»). Några marginalgenrer inom spelbranschen har dessutom speciella behov, som t.ex. pervasive games med vissa FoU-behov inom Nät samt Sensorteknik och sensornät.

Design av digitala konsumentprodukter bör räknas till upplevelseindustrin med hänsyn till hur mycket användningsupplevelsen styr marknadens preferenser. Exempel som mobiltelefoner och musikspelare kan räcka för att ge en antydning om branschens omfattning och betydelse. Vid design av digitala konsumentprodukter är faktorer som form, storlek, vikt, responsivitet och kommunikationsbandbredd centrala för användningsupplevelsen och därför är FoU-områdena Nät, Inbyggda och autonoma system, Systemarkitektur, Radio och Digital signalbehandling viktiga i den mån de kan bidra till att ge tillräckligt goda prestanda inom de ramar som produktens fysiska form anger. Att förena alla dessa

områden i en produkt måste också sägas vara ett dimensionerande fall för FoU-området Systems engineering. Slutligen säger det sig självt att FoU-området Interaktionsdesign är centralt för design av digitala konsumentprodukter med tanke på användningsupplevelsens betydelse. Sverige har oproportionellt stor närvaro i branschen, tack vare en betydande tradition inom industridesign av konsumentprodukter kombinerat med den tidiga och snabba penetrationen av IKT-produkter och speciellt mobiltelefoni. Internationellt är digitala konsumentprodukter en bransch av enorm och växande ekonomisk betydelse speciellt i Europa, Nordamerika och Asien.

Film är en bransch inom upplevelseindustrin som växer markant i betydelse i takt med att begreppet »rörlig bild» breddas från biografduk och teve till de digitala medierna. De viktigaste FoU-områdena inom IKST(m) för rörlig bild är Digital signalbehandling (för effektiv kodning av digitaliserad video i samband med distribution, samt för mer kraftfulla och effektiva verktyg för filmproduktion och -redigering), och Simulering och beräkningsteknik (främst för produktion av specialeffekter). Det finns också vissa FoU-behov inom Interaktionsdesign, främst i anslutning till verktyg och infrastrukturer för användarproducerad och -medierad video. Filmbranschens internationella ekonomiska betydelse behöver knappt nämnas, men vi kan konstatera att Sverige har haft en relativt underordnad ställning även om sentida satsningar, exempelvis i Trollhättan, har börjat ge vissa resultat.

Mediebranschen präglas just nu av flera starka tekniska trender och förändrade brukspraktiker, inklusive plattformskonvergens, sociala nätverk och »communities», samt verktyg och infrastrukturer för användarproduktion inom audiovisuella medier. För att klara omställningen, tillvarata befintlig kompetens inom mediebranschen och för att skapa nya tillväxtmöjligheter krävs betydande FoU främst inom områdena Digital signalbehandling (för effektiv kodning av digitala audiovisuella medier), Knowledge discovery och visualisering (för innehållsanalys, skapande av metadata och andra aspekter på content management) samt Interaktionsdesign (för att utveckla nya medieprodukter och -tjänster för de interaktiva medierna och i transmedia-situationer). Mediebranschen är markant internationaliserad och spelar en stor ekonomisk roll i de flesta av världens i-länder; Sveriges relativa betydelse får väl bedömas som proportionellt genomsnittlig.

Musik rankas i vissa undersökningar som Sveriges näst största exportbransch – även om vederhäftigheten kan diskuteras, står det klart att musik är en betydande del av den svenska upplevelseindustrin. Den svarar också internationellt sett för en betydande del av upplevelseindustrins ekonomiska värde. Det viktigaste FoU-området inom IKST(m) är Digital signalbehandling (för effektiv kodning av digitaliserad musik i samband med distribution, samt för mer kraftfulla och effektiva verktyg för musikredigering och -framträdanden). Det finns också vissa FoU-behov inom Interaktionsdesign, i anslutning till verktyg och infrastrukturer för användarproducerad och -medierad musik samt i samband med multimediala framträdanden (DJ/VJ performances) där både artisternas verktyg och de konstnärliga uttrycken behöver studeras och vidareutvecklas.

I takt med framväxten av högpresterande mobila infrastrukturer för datakommunikation blir också mobila spel samt mobila film-, teve- och musiktjänster centrala inom tillämpningsområdet. Den utvecklingen innebär att FoU-områdena Nät, Radio och Digital signalbehandling på sikt växer i betydelse för upplevelseindustrin, från branschen design av digitala konsumentprodukter och in i andra branscher som dator- och tv-spel, film, medier och musik. Detta är strategiskt betydelsefullt för Sverige av två skäl, dels för att upplevelseindustrin representerar en växande sektor med högt förädlingsvärde som bär en betydande del av förväntningarna på fortsatt ekonomisk tillväxt i landet, och dels eftersom Sverige har en rimligt stark plattform även inom de FoU-områden som kommer att växa i betydelse för upplevelseindustrin, och därmed har förutsättningar att ta en internationellt framskjuten position.



5.7 ENERGI- OCH MILJÖTEKNIK

Den globala energisektorn förändras kontinuerligt. Processer som avreglering, liberalisering, marknadskonsolidering, investeringar i nya energikällor, och utveckling av nya tekniker för transmission och distribution påverkar alla energisektorn utefter hela värdekedjan.

Flera ekonomiska krafter driver energisektorn till ett tillstånd av kontinuerlig omstrukturering. Traditionella källor av kassaflöde från kraftgenerering och kraftnätverk kommer att minska. Företag inom sektorn kommer att behöva investera över hela värdekedjan och erbjuda kunderna tjänster med mervärde, inte minst för att kunna leverera en bättre och mer balanserad plattform för aktieägarna.

Regelverken är viktiga inom sektorn. Liberalisering av marknaden öppnar upp en ny era inom el-handeln. Inom Europa har liberaliseringen kommit olika långt och det leder till att det finns stora skillnader mellan länder i hur energi handlas. I en helt fri marknad är gas och el handelsvaror med flexibel och innovativ handel. Största skillnaden mellan gas och el som handelsvaror är lagringsaspekten. Gas kan enkelt lagras medan det är en betydande utmaning att lagra el.

För att energi som handelsvara ska kunna handlas på helt nya sätt behövs en infrastruktur som möjliggör detta. Dagens kontrollnätverk av gas och el är designade efter den traditionella marknadens utformning med central distribution (oftast statsägd). Dessa system behöver utvecklas och det är främst genom att använda mjukvara man kan möta nya krav. Nya system för transmission, distribution och detaljhandel kommer att tas fram inom de närmast åren. Typiskt för dessa system är att de skall ha hög livslängd och att de måste vara extremt pålitliga och säkra.

Ytterligare en utmaning är att ha system som höjer energieffektiviteten. Här finns utrymme för helt nya sätt att styra el-intensiv industri och även att minska förlusterna vid överföring av el. Inom detta område är kontrollsystemen mycket viktiga, och man behöver mer mjukvaruforskning för produktfamiljer, som t.ex. effektivare motorstyrning eller maskinutnyttjande.

Miljöteknik har många naturliga kopplingar till energiteknik, inte minst inom klimatområdet där de i mångt och mycket är olika sidor av samma mynt. Klimatområdet är i allra högsta grad kopplat till mänskliga aktiviteter, och de är dessa tillsammans med naturens egna processer som klimatforskarna vill modellera, för att få fram säkrare beskrivningar av hur olika processer påverkar jordens klimat. Området har ett närmast omätligt behov av beräkningsresurser, och det är bl. a. genom ökad beräkningskapacitet som osäkerheten i klimatmodellerna kan minskas. Detta område har också starka beröringspunkter med områden som Knowledge discovery och visualisering samt eScience.

Det finns således ett stort behov av simuleringar och tillhörande beräkningar av klimat, hydrologi, oceanografi, utsläpp och med lite kortare horisont simuleringar av väder och vind. Uppdaterade väderdata är samtidigt av allt större betydelse för en rad olika verksamheter, inte minst jord – och skogbruk, och det är i allt väsentligt IKST som har bidragit till möjligheterna i de tjänster som växer fram inom området. Det finns också flera andra delar av miljöproblematiken där IKST(m) har en stor roll att spela. Det finns t ex ett intresse att koppla all den kunskap som finns inom naturvetenskapen med socio-ekonomiska kunskaper, och med olika möjliga ställningstaganden. Behoven av olika sofistikerade beslutsstöd växer fram inom en rad olika yrkesgrupper som samhällsplanerare, tjänstemän på försäkringsbolag, och inom räddningstjänsten. Man får i detta sammanhang inte heller glömma bort de stora behoven av pedagogiska verktyg baserade på forskarnas samlade kunskaper inom utbildning och för den vanliga befolkningen.

I rapporten har tidigare belysts betydelsen av IKST(m) för renare fordon, däremot inte i samma uträkning IKST(m) som medel för bättre och hållbarare logistik. Genom alltmer avancerade informationssystem kan varu- och transportflöden optimeras. Sannolikt kom-

mer alltfler branscher, där det är möjligt, att gå över till att producera sina produkter enbart digitalt. När digitalt papper blir billigt kommer många träd och mycket energi att sparas. Ett område som hänger ihop med detta är hållbara kommunikationer som måste tillskapas om en hållbar utveckling skall garanteras, och inom detta finns också stora möjligheter med IKST(m). Genom bland annat högre överföringskapacitet, bättre interaktionsdesign, och kunskap om mänsklig kommunikation kan bättre mötes- och konferenssystem utvecklas, och antalet resor minskas.

På den mer industriella sidan finns behov av ökad integrering och utveckling av mjukvara inom reglerteknik för t.ex. bättre avloppsreningsverk, samt förbättrade system för drift och underhåll.



5.8 VÅRD OCH HÄLSA

Sverige möter de kommande åren och ett par decennier framöver likt många andra länder en rad nya utmaningar inom vård och hälsa i form av en åldrande befolkning, och en ökning av antalet personer med kroniska sjukdomar. Sjukvården i sig är också i omvandling mot en starkare decentralisering (samtidigt som specialistvården blir mer centraliserad), mer hemsjukvård, och ökade krav på rationaliseringar samt förväntade problem med personalrekrytering. Det har mot den bakgrunden satts stort hopp till IKST-området, och det finns flera stora framgångar på området medan andra bromsas av den komplexa strukturen inom svensk sjukvård med dess olika inte alltid så väl samordnade huvudmän, samt att implementationen av tekniken i många fall har varit teknikdriven snarare än användar- och verksamhetsdriven. Utvecklingen av Internet och ökad möjlighet för patienter att lära sig mer om sina sjukdomar och få alternativa diagnoser är i sig en utmaning för vårdapparaten.

IKST(m) används redan i viss omfattning i patientdataledet genom t.ex. automatiska dikteringsprogram med tal- till textomvandling, streckkoder för medicinhantering samt direktöverföring av patientdata från instrument till journalsystem. Denna teknikutveckling innebär ofta en organisationsförändring, vilket gör att genombrottet för IKST i vården går långsammare än önskat.

Avancerade grafiska simuleringsmiljöer (3D) med haptiska användargränssnitt används redan för utbildning av kirurger samt för träning av desamma före till exempel en strålbehandling, eller benborrning. Här kan kirurger t.ex. känna på virtuella njurar och andra organ med högst realistisk känsla. Hårdvaran är numera ganska billig och man kommer ganska långt med en vanlig dator och en s.k. robotarm. Det mesta sker i mjukvaran, och avancerade beräkningar av de krafter som kommer från kirurgen och kolliderar med det virtuella organet genererar verklighetstroga motkrafter och känselimpulser i robotarmen. Programmen är idag så pass avancerade att patientspecifik data används, och kirurgen kan skära eller borra och få direkt återkoppling på sitt handlande. Haptiska gränssnitt utvecklas också för privatpersoner t.ex. synskadade så att dessa kan navigera i vanliga datorprogram med känseln samt t.ex. spela speciellt utvecklade spel.

Ett annat område på stark frammarsch är robotkirurgin som är en vidareutveckling av titthålskirurgin men där en robot håller i skärverktyg och kamera. Robotar är mycket mer stabila på handen än människor. Kirurgen styr roboten från en datorplattform genom styrmekanismer och genom att titta på tredimensionella bilder med mycket hög upplösning på en skärm. Kirurgen får på så sätt en mycket bättre visualisering av t. ex. urinröret samt stor hjälp av roboten att utföra ett exakt ingrepp som minskar risken att skada andra närliggande vävnader i kroppen. Exaktare ingrepp leder till minskade vårdinsatser och kortare sjukhusvistelser. Robotkirurgin har hittills nått störst framgång inom urologin men kommer sannolikt att sprida sig till flera andra områden. Med robotkirurgi kan också specialister

utföra operationer på distans, vilket är en stor vinst för patienten som kan stanna på sitt hemsjukhus.

Sensorteknik blir alltmer betydelsefull för sjukvården och erbjuder en mängd fördelar. Inom t ex hemsjukvården kan patienter övervakas på distans, och vårdpersonal kan redan innan ett hembesök ha en klar bild av patientens hälsotillstånd. En rad olika patientgrupper kan monitoreras, och detta har stor betydelse för de patientgrupper som upplever ganska långa perioder av stabilare tillstånd, men där förändringsbilden är snabb, t.ex. hjärtsvikts- och KOL-patienter. Trådlös sensorteknik gör att patienters livsstil avsevärt kan förbättras.

Kliniska beslutsstöd är ett område som pekas ut som ett kärnområde inom framtida sjukvård av PITAC-rapporten »Revolutionizing Health Care Through Information Technology.» Beslutsstöden har funnits i sjukvården sedan 1960-talet men hittills inte uppnått någon större framgång. Tillgängligheten av autentiska vårddata är dock väsentligt högre idag, vilket öppnar upp för statistiska metoder och maskininlärning, som varit framgångsrika i andra sammanhang. Beslutsstöden kan med dessa tekniker baseras på ständigt uppdaterade evidensdata. De beslut som läkaren tar kan därmed bli baserade på verkliga evidens i väsentligt större grad än tidigare. En stor brist var tidigare att de beslutsstöds-system som byggdes inte var integrerade i vårdapparaten, utan endast var bra på att lösa isolerade vårdproblem, t.ex. diagnoser. Att integrera verksamheter i systemutvecklingen är numera standard inom interaktionsdesign, vilket också kan bidra till att området kan anses vara utvecklingsbart.

Vilka problem kan då beslutsstöden lösa eller förbättra? Behoven finner vi bland annat i en alltmer komplex vårdapparat med en rad olika medicinska specialiteter, där patientens trygga husläkare har svårt att hålla reda på patientens olika symptom och medicinska behandlingar. Medicinska beslutsstöd kan med hjälp av sensorer övervaka patienter på distans och ge signaler till läkare och sjuksköterskor när det krävs vårdinsatser. Handhållna terminaler med beslutsstöd möjliggör att läkaren kan ta bättre beslut på plats samt omedelbart uppdatera relevanta databaser. Mänskliga expertutlåtanden kan även integreras i de handhållna terminalerna via s.k. telemedicin. Patientsäkerhet och »privacy» är viktiga aspekter på detta område som måste hanteras varsamt om beslutsstöd inom medicin skall bli en framgång. Beslutsstöden har också en viktig länk till orderhanteringen inom sjukvården, t.ex. beställning och lagerhållning av medicinska tester, medicin och sjukvårdsmateriell. Här finns det enorma pengar att spara.

Det moderna samhället ställer höga krav på sina universitet och sjukhus. För att kontinuerligt kunna erbjuda förbättrad utbildning och vård måste utvecklingen av behandlingsmetoder, läkemedel och diagnostik bedrivas effektivt. Den kliniska medicinska forskningen är beroende av flera huvudmän: den offentliga sjukvården, läkemedelsindustrin, bioteknik- och medicinteknikindustrin samt den akademiska forskningen. Kunskapsöverföringen från grundläggande forskning till vård och omsorg respektive till industri och omvänt, samt forskningsaktiviteter som knyter samman och utnyttjar resurser inom dessa verksamheter betecknas som translationell forskning. Utöver en rad åtgärder för att utveckla organisation, grundläggande utbildning och forskarutbildning är insatser inom forskningen i sig nödvändiga. Den kliniska forskningen behöver ha tillgång till forskningstekniker inom bl.a. genomik, bioinformatik, imaging och den grundläggande forskningen behöver ha tillgång till kliniskt material och relevanta frågeställningar. Investeringar i translationell forskning kan ge stor avkastning genom att skapa komplementära strukturer som kan befrukta varandra.

Stort intresse finns idag för forskning kring våra folksjukdomar, som cancer, hjärtsjukdom, diabetes, reumatism, fetma mm, med målsättning att reducera kostnader för vård och hälsa och öka livskvaliteten hos stora grupper av människor. Ny kunskap behövs om

komplexa samverkansstrukturer mellan biologiska faktorer, livsstil och miljöfaktorer samt en skarp biologisk (molekylär) sjukdomsklassificering, som möjliggör nya preventiva åtgärder och effektivare patientspecifika behandlingsrutiner. Den här typen av kunskapsgenerering kräver väldokumenterad epidemiologisk, klinisk, biologisk och molekylär information från ett stort antal patienter och friska individer samlade i forskningsbiobanker, innehållande DNA, vävnad, celler, blod och annat biologiskt material.

Dessutom behövs information om individer och prover. Sverige har en lång och gedigen erfarenhet av populationsbaserade register – en potentiell guldgruva för forskning kring vård och hälsa. Dessa register innehåller information om tid och plats för födda och avlidna, om dödsorsaker och om flyttningsrörelser inom och utom landet. Register finns om sjukhusvistelser och om allvarliga sjukdomar som cancer. Register är viktiga redskap för att förstå utbredningen av riskfaktorer för våra folksjukdomar och förklarar Sveriges traditionellt starka ställning inom epidemiologisk och folkhälsovetenskaplig forskning.

Välorganiserade nationella biobanker och register över befolkningen i kombination med den molekylärbiologiska teknikutvecklingen öppnar helt nya möjligheter för forskning inom vård och hälsa. Över hela världen har man under de senaste fem åren sett en dramatisk övergång till att infoga genetisk information i studier av människans sjukdomar. Även om största delen av genomet är identiskt för olika människor så bidrar de små skillnaderna till att förklara varför vissa individer har större benägenhet att bli förkyllda, feta eller dö en för tidig död i hjärtinfarkt. Den genetiska informationen kan dock inte ensam förklara orsaker till sjukdom eller sjukdomsbördan på befolkningsnivå. För att fullt ut förstå denna behöver vi följa befolkningssegment av friska individer över tid för att lära oss hur arv, livsstil och miljö samverkar för att sjukdom skall uppstå.

I ett internationellt perspektiv har Sverige unika möjligheter att utveckla modern biomedicinsk forskningsinfrastruktur och därmed att inta en ledande position när det gäller forskning och utveckling kring vård och hälsa. Vi har en i många avseenden effektiv och väl organiserad sjukvård, vi har kunskaper och potential att skapa ett nationellt biobanksprogram och vi har unika register över befolkningen. Vi behöver därutöver målmedvetna strategiska satsningar och investeringar i en effektiv sammanhållen forskningsorganisation och ett modernt utbildningsprogram relaterat till vård och hälsa.

Resursplattformar i form av apparatur, biobanker, databaser, modellorganismer mm utgör en sammanfogande kärna inom den biomedicinska forskningen. Effektivt utnyttjande av dessa ställer krav på system- och mjukvara, på organisation och sjukvårdspersonal och på tvärvetenskaplig kompetens för kunskapsöverföring. Svårlosta problem finns kring frågor om äganderätt, integritet, säkerhet, standarder, tillgång till prover och information mm. Avancerad IT-infrastruktur som använder sig av federerad databasarkitektur och gridteknik möjliggör integrering av information från olika källor. Avancerad matematisk, statistisk och beräkningsteknisk kompetens är avgörande för att utvinna kunskap ur dessa komplexa datamängder. Bl.a. är systemvetare, bioinformatiker, statistiker och databasexperter en bristvara och utvecklingen bromsas av att den akademiska utbildningen står handfallen inför det ökande behovet av teknisk kompetens inom området för vård och hälsa.



5.9 OFFENTLIG FÖRVALTNING OCH UTBILDNING

Myndigheters användning av elektroniska tjänster för service till privatpersoner, andra myndigheter, och företag brukar betecknas eGovernment. I begreppet ingår ofta organisationsförändringar och att stärka demokratin. Målet är att förbättra effektiviteten, tillgängligheten och konsekvensen i myndighetsutövningen i den offentliga förvaltningen. Detta skall förenkla för privatpersoner, företag samt inte minst för myndigheterna själva. För privatpersoner och företag kan det handla om att förenkla olika kontakter med myndigheter (t.ex. slippa att sitta i telefonkö), deklarerar, rösta, ansöka om bidrag, hantera sjukförsäkringar,

att ha tillgång till information om lagar och skatteregler, osv. För myndigheterna själva spänner begreppet över upphandling, inköp, fakturering, lönesystem, resehantering, rekrytering, och internutbildning, bara för att nämna några områden där digitaliseringen av myndigheternas arbetsrutiner verkligen kan effektivisera arbetet, och leda till stora besparingar.

Termer som 24-timmarswebben som förekommer i eGovernment-sammanhang leder tankarna till att eGovernment först och främst handlar om Internet-baserade tjänster, men möjligheterna och behoven är betydligt större än så. Utveckling av telefoni- och smstjänster pågår, och finns redan i stor utsträckning, utvecklingen av effektiva vägtullar, och andra trafikflödeshanteringssystem är också exempel på viktiga delar i eGovernment.

Säkerhet är centralt för området, och en utveckling och implementation av e-legitimation finns med alltmer vidgade användningsområden. Smarta kort och pass utvecklas med biometri för ökad säkerhet och smidighet för medborgarna. Genomslaget är dock i många fall ännu inte så stort som skulle önskas för en effektiv förvaltning. Säkerheten i den direkta korrespondensen med medborgare och företag måste förbättras men också hanteras varsamt. Den elektroniska kommunikationen lagrar sig nästan automatiskt, och detta reser frågor om integritet, och personlig säkerhet. Många människor upplever också att personerna bakom myndigheterna försvinner, när man aldrig träffas, eller talas vid i telefon. I detta sammanhang är det viktigt att ha ett användarcentrerat perspektiv på utvecklingen av eGovernment, så att utvecklingen sker i samverkan med dem som skall använda systemen. Området interaktionsdesign är centralt för eGovernment.

Arbetet med eGovernment pågår och utvecklas i många länder, och i Sverige har statsmakten ansett denna omvandling så viktig att en speciell myndighet har bildats, Verva. Verva har tagit över mycket av det arbete som Statskontoret tidigare gjorde inom området.

IKST i utbildningen har länge rönt stora förhoppningar, och inom området artificiell intelligens (AI) har man länge utvecklat utbildningsorienterade tillämpningar. Resultaten har varierat beroende på ämnesområde, och lite förenklat kan man säga att det går betydligt bättre inom de matematiskt grundade disciplinerna än i övriga, i alla fall ur ett AI-perspektiv där elevens förmåga, framsteg, inlärningskurva skall modelleras. Det finns dock goda undantag inom mer mjuka ämnen där t.ex. avancerade matrisberäkningsmetoder är mycket bra på att sätta betyg på studenters uppsatser, under förutsättning att en stor mängd betygsatta uppsatser i samma mycket väldefinierade område redan finns. Studier har funnit att datorer är mer konsekventa och rättvisa än lärarna.

Utbildningsområdet har starka kopplingar till eScience, Knowledge Discovery och visualisering, samt Simulatorteknik, och vi har bara sett börjat på en mycket intressant utveckling, där det stora genomslaget för IKST(m) i utbildningen emellertid sannolikt kommer först när en majoritet av lärarkåren består av personer uppvuxna med IKST.

5.10 ESCIENCE

eScience innefattar globala samarbeten på vetenskapliga nyckelområden, och den nästa generationens IKT som ska göra samarbetet möjligt. Det krävs avancerad IKT-infrastruktur, tillgång till mycket stora datasamlingar, storskaliga datorresurser och tekniker för högprestandavisualisering. eScience kommer att ändra forskningens dynamik under detta århundrade.

Sveriges eventuella konkurrensfördelar kommer att bestämmas av vår förmåga att skapa och anpassa ny teknik och mjukvara och vår förmåga att identifiera och ta i bruk relevanta applikationer. Det kan handla om FoU-intensiva grid-tjänster som länkar samman infrastrukturer och utrustning (teleskop, arkiv, databaser, etc), global delning av processor- och datalagringskapacitet, tillgång till bredare samhällsrelevanta IKT-applikationer såsom telemedicin, digitala bibliotek, eGovernment-tjänster, etc.

De nordiska länderna har **unika databaser** upprättade av olika myndigheter för administrativa eller uppföljningsändamål. Dessa unika datastrukturer utnyttjas inte ännu på bästa sätt av forskningen. Att möjliggöra säkra och effektiva former för tillgång och bearbetning av dessa data skulle öppna upp nya infrastrukturer inom livsvetenskaperna, geo- och socialvetenskaperna och medicinen – forskningsområden som inte tidigare haft en teknikdriven tradition. Förutom erforderlig utveckling och implementering av teknik, behöver samhället anvisa, sannolikt betydande, resurser för att upprätta former för standardisering, dataharmonisering och tillgänglighet, inklusive för hantering av administrativa och legala frågor.

Behovet av en allmän, uthållig och välorganiserad kapacitet för **högprestanda-beräkningar** är fundamentalt inom breda vetenskapliga områden. Även om den svenska akademiska högprestandainfrastrukturen är väl utformad och underhållen, så krävs ytterligare beräkningsresurser för att nå internationell slagkraft. Forskningsområden som kräver mycket stora sådana beräkningsresurser, och där behoven för närvarande inte kan tillgodoses av de nationella faciliteterna inkluderar bl a klimatforskning, molekylmodellering, atmosfärsmodellering, tsunamiutbredning, proteinstrukturforskning, bioinformatik, simuleringar av olika slag, ocenaografi, beräkningar för nanopartiklar och –material samt kvantdynamik.

Grid-infrastrukturen är en nyckelteknik för att möjliggöra en alltmer samverkansinriktad och distribuerad forskning och således en hjärtefråga för eScience. De nuvarande miljöer som erbjuds av grid-karaktär är ännu på experimentstadiet och inte lämpliga för den breda massan av eScience-användare. Det finns betydande utrymme för mjukvaruutveckling i syfte att ge infrastrukturen möjlighet att erbjuda transparent och säker tillgång till alla eScience-resurser av olika slag, såsom datorer, lagringsmedia, programvara, databaser, samarbetsplattformar, etc, som behövs för att tillgodose de olika kraven från tillämpningsområdena.

Beräkningsvetenskap är en nyckelgren inom eScience, och betraktas idag allmänt som den tredje hörnstenen i den vetenskapliga metodiken jämte det klassiska paret: teori och experiment. Följande citat från PITAC-rapporten om beräkningsvetenskap låter sig lätt generaliseras till hela eScience-området.

While it is itself a discipline, computational science serves to advance all of science. The most scientifically important and economically promising research frontiers in the 21st century will be conquered by those most skilled with advanced computing technologies and computational science applications.

En rad amerikanska rapporter har direkt förespråkat kraftfulla insatser riktade mot forskning inom eScience och kring dess infrastruktur. Förutom PITAC-rapporten kan nämnas rapporter från The Executive Office of the President, The Office of Science, The National Science Foundation (NSF), The NSF Cyberinfrastructure Council och The Towards 2020 Science Group (den sistnämnda gjord för Microsofts räkning om än framtagen i Storbritannien).

På europeisk nivå visar både The e-Infrastructure Reflection Group (e-IRG) och The HPC Europe Task Force (HET) ett starkt engagemang för internationell samverkan kring koordinerade internationella e-infrastrukturer. De nordiska länderna är välrepresenterade i dessa initiativ. Området e-Infrastructures and the global dimension of research har också uppmärksamats i den vägkarta som tagits fram av The European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI). Det är värt att notera, att de 35 projekt som förs fram i denna vägkarta täcker alla vetenskapliga områden, och de allra flesta innehåller kompo-

nenter av eScience, explicita eller implicita. För att effektivt utveckla de pan-europeiska infrastrukturerna som presenteras i ESFRI:s vägkarta, skulle krävas en bred enhetlig begreppsapparat och en handlingsplan för infrastrukturer, utbildning, forskning och olika tillämpningar.

De nordiska länderna har individuellt uppmärksammat vikten av området eScience i ett antal aktuella initiativ, t ex det finländska eScience-programmet 2007, det norska eVITA-programmet 2006, eller det svenska eScience-infrastruktursinitiativ som Vetenskapsrådet tog 2007. Medan de nordiska länderna sedan lång tid tillbaka framgångsrikt har samarbetat inom områden som datanät, utveckling av gridprogramvara och senare kring högprestandaberäkningar, så har diskussioner om hur olika nyckelinslag i de bredare nordiska eScience-initiativen lämpligen bör koordineras först nyligen inletts.

Även om den föreslagna eScience-strategin har sitt direkta fokus riktat mot akademien, så har den återverkningar för industri och näringsliv. Framför allt gagnas företagen kompetensmässigt av en starkare eScience-infrastruktur och den forskning och utbildning som hör till. Kompetens inom infrastrukturens kärnområden är högst relevanta för industrin. EUs 7:e ramprogram lägger också signifikant vikt vid tjänsteorienterade infrastrukturer för användning i industri och företag. De tekniska lösningarna kommer i stor utsträckning att baseras på grid-teknik utvecklad inom eScience-kretsarna.

6. Systemorienterade forskningsområden

I detta avsnitt ges fördjupningar inom de tre systemområdena systemteknik, programvaruteknik och interaktionsdesign.

6.1 SYSTEMTEKNIK (SYSTEMS ENGINEERING)

Systems engineering är den överordnande ingenjörsciensen som handlar om att utveckla och integrera komplexa system. Någon etablerad svensk översättning av termen finns inte, men **systemteknik** är sannolikt det som kommer närmast. Någon stringent och allmänt accepterad definition av begreppet finns inte heller, men i detta avsnitt beskrivs viktiga beståndsdelar som de flesta berörda verkar anse ingår. En viktig grundobservation är att när man sätter samman komponenter eller delsystem till en produkt så kommer produkten att ha egenskaper och innehålla funktioner som inte fanns hos de enskilda delarna. Eftersom det är dessa egenskaper och funktioner hos produkten som är viktiga för kunden så måste ett företag hantera helheten och inte bara delarna. De traditionella ingenjörscienserna och forskningsområdena är ofta inriktade på enskilda komponenter, egenskaper eller funktioner, men för ett företag som utvecklar en komplex produkt är systemteknik en central disciplin som kompletterar de övriga för att sätta samman dessa till en attraktiv helhet.

Systemteknik är med nödvändighet en interdisciplinär verksamhet. Viktiga beståndsdelar är kravspecifikation för produkten som helhet och nedbrytning av kraven till mätbara krav på delsystem och komponenter. I grunden handlar detta om att skaffa sig en förståelse för problemet sett ur kundens och affärens perspektiv, innan man försöker lösa det. Utmärkande är att beakta produktens hela livscykel, från vaggan till graven, när man definierar kraven, och att ta hänsyn till alla driftsmoder som kan förekomma liksom hantering av produkten under tillverkning och service. Baserat på kraven undersöks alternativa lösningar, och motstridigheter mellan olika krav och egenskaper balanseras mot varandra för att hitta bästa möjliga helhet. När systemet på detta sätt har brutits ned till delar med tydliga gränssnitt och kraven har fördelats på dessa kan traditionella ingenjörsmetoder användas för delarna. Efter detaljkonstruktionen vidtar sedan en integrationsverksamhet där de olika delarna successivt sätts samman till större enheter som verifieras mot kraven.

Utvecklingen av komplexa system betraktas ofta som en svensk paradgren, och en lång tradition finns som har lett till att olika företag har utvecklat pragmatiska metoder för systemteknik. Ibland anses den svenska konsensuskulturen ha bidragit till detta då den främjar angreppssätt som går ut på systematisk och objektiv utvärdering av olika alternativ och balansering mellan dessa. Troligen har den nära samverkan mellan framsynta myndigheter som ställt tydliga krav och kompetenta företag som utvecklat komplexa system också främjat denna utveckling, t ex på flygsidan mellan FMV och Saab, inom telekommunikation mellan Televerket och Ericsson och inom energiområdet mellan Vattenfall och Asea. Dessa nära relationer är numera inte lika uttalade och många företag har också blivit mer internationella i sin utvecklingsverksamhet.

Mycket av den teori som finns inom området systemteknik utgår ifrån en situation där det finns en upphandlande part och ett levererande företag, såsom är fallet inom t ex militärsektorn. Inom många andra branscher, där det inte finns en lika tydlig representant för kunden har andra principer fått gälla för kravinsamling. Då trenden är tydlig att allt fler företag får bedriva sin utveckling på spekulation om vilka krav kunderna kan ställa krävs en översyn av metoderna för systemutveckling och det behöver också eftersökas effektivare

metoder för t ex kravhantering och beslutsstöd. I detta måste osäkerheter beaktas, både om vilka krav som kan komma att gälla på marknaden, och vilka möjligheter tekniken ger. En realitet är också att de flesta företag idag utvecklar familjer av produkter baserade på en gemensam basplattform, och utformningen av plattformen och produkterna komplicerar ytterligare utvecklingen.

Tyvärr är den akademiska forskningen fortfarande i stor utsträckning inriktad på de traditionella ingenjörsvetenskaperna, och forskning kring systemteknik i den betydelse ordet används här förekommer bara på ett fåtal svenska högskolor och då främst inriktat på mekaniskt dominerade produkter med lite fokus på mjukvara och elektronik. Mycket av metodutvecklingen sker istället på företagen och baseras då på pragmatiska ställningstaganden snarare än fakta om hur effektiv produktframtagning bör bedrivas. Samtidigt är och förblir området mycket viktigt för svensk industri. Trots allt ökar systemens komplexitet ständigt, inte minst genom det växande mjukvaruinnehållet och den ökande förfiningen i egenskaper och funktioner. Samspelet mellan mjukvaran i ett inbyggt system och den fysiska produkten är ett tydligt exempel på där systemtekniska angreppssätt kommer till sin rätt då det är ett möte mellan traditionella discipliner. Likaså finns viktiga forskningsfrågor att belysa kring hur mjukvaruverktyg kan användas som ett stöd för systemtekniken för att göra effektiva analyser och hantera de stora mängder information det rör sig om. Modellbaserad utveckling, där mycket av analyserna kan göras virtuellt och med simuleringar, är en viktig faktor för att höja effektiviteten. Inom verktygsområdet finns också stora möjligheter till kommersialisering och avknoppningar där nya företag kan bildas för att vidareutveckla och sälja utvecklingsverktyg.

Systemteknik är av stor vikt för i princip alla tillämpningsområden som berörs i denna utredning. Det är väl etablerat inom traditionella industrier såsom telekom, fordon, process och automation, råvaror, flyg och rymd, och energiteknik, men även inom upplevelseindustrin, miljötekniken, vård och hälsa och offentlig förvaltning kan man förvänta sig att systemtänkande blir en framgångsfaktor i takt med ökande komplexitet i produkter och processer.

Många av de enskilda FoU-områdena har nära koppling till systemteknik. Programvaruteknik kan ses som ett specialfall av systemteknik, där man uteslutande ägnar sig åt

Med tanke på områdets centrala betydelse borde systemteknik vara väl ägnat för en strategisk satsning.

mjukvaruutveckling, medan systemtekniken även beaktar helt eller delvis fysiska system. För inbyggda system, där en programvara interagerar både med en hårdvara och ett fysiskt system är systemtekniken direkt avgörande för en sammanhållen produkt. Utvecklingen av systemarkitekturen är också en central del i systemtekniken.

Med tanke på områdets centrala betydelse för industrin och den relativt begränsade akademiska forskningen inom landet, borde systemteknik vara väl ägnat för en strategisk satsning där några internationellt slagkraftiga forskargrupper etableras på svenska högskolor. För att rätt kunna möta framtidens krav bör inriktningen för en sådan satsning vara komplexa datorbaserade produkter.

6.2 PROGRAMVARUTEKNIK (SOFTWARE ENGINEERING)

Software Engineering är den disciplin inom produktutveckling av programvaruintensiva system som syftar till att förbättra hur man tar fram programvara på ett effektivt och professionellt sätt. Inom software engineering fokuserar man på de delar av utvecklingen som är speciellt relaterade till programvara. Eftersom programvara inte följer några fysikaliska lagar kan man inte direkt tillämpa de klassiska ingenjörsmetoderna rakt av. Målet med mycket av forskningen inom software engineering är att det ska gå att producera programvara med förutbestämda egenskaper såsom tillförlitlighet, underhållbarhet, prestanda och

testbarhet. Dessa egenskaper kallas också för kvalitetsattribut och är i viss mån komplementära till de funktionella kraven som ställs på en produkt. Typiskt är att det inte finns fullständiga modeller av hur programvara beter sig i sin målmiljö, något som till stor del beror på just avsaknaden av fysikaliska lagar. Utan ett strukturerat tillvägagångssätt för att utveckla programvara (software engineering), tenderar utvecklarteamen att fokusera på de funktionella kraven och implementera dess till stor belåtenhet. Detta är inte ett ovanligt fenomen eftersom det är främst på funktionaliteten som produkterna säljs. Dock finns det undantag med krävande industriella och säkerhetskritiska tillämpningar, där de kvalitativa egenskaperna med tillförlitlighet och robusthet är nummer ett. Att ha en programvaruarkitektur (Software Architecture) som bas för att resonera om både funktionella och kvalitativa krav är att föredra, och därför är också software architecture ett nyckelområde inom software engineering.

Software engineering innefattar hur programvara ska hanteras över tiden med olika revisioner och fixar. Detta delområde kallas Configuration management. En fördel med programvara är att fel kan fixas och en ny rättad version laddas upp till målsystemet utan att detta egentligen påverkar målmiljön. Upprepade småfixar som distribueras till många olika kunder leder dock till att många revisioner av programvaran samtidigt är i drift på olika ställen. För att veta vad man har distribuerat och vilka versioner är aktuella samt att eventuella rättningar inte skadar redan befintlig funktionalitet behöver configuration management utnyttjas.

Verifiering och validering är också en disciplin inom software engineering. Verifiering syftar till att se till att det inte finns några fel i produkten medan validering säkerställer att produkten uppfyller de krav som är ställda. Inom denna disciplin finns en hel del forskning att tillgå, men det är trots detta en stor utmaning att få industrin att tillämpa de resultat som produceras inom forskningsinstitutioner och akademi. Ett viktigt område inom verifiering och validering är att förstå varför fel dyker upp i drift och varför inte dessa fel fångades in under verifieringen av produkten. Det är av stort värde för ett företag att förstå hur en programvara ska testas och vilka typer av tester som ska tillämpas för att inga fel ska släppas ut med produkten.

6.3 INTERAKTIONSDESIGN

Interaktionsdesign betecknar utformning av digitala produkter och tjänster med särskilt fokus på användare och användning. Historiskt sett har intresset för användare och användning inom IKST(m) varit koncentrerat på de digitala produkternas nytta och på hur lätta de varit att använda effektivt och problemfritt. Forskning med ett sådant fokus har huvudsakligen växt fram inom det akademiska området människa-datorinteraktion, från slutet av 1970-talet och framåt.

Att FoU-intresset vid den tiden främst handlade om nytta och så kallad användbarhet hänger förstås ihop med att digitala produkter och tjänster under 1970- och 80-talen användes nästan uteslutande i arbetssituationer för att lösa bestämda uppgifter. De senaste tio-femton åren har dock inneburit en utveckling mot nya typer av användningssituationer och nya drivkrafter. Beakta exempel som webben, mobila tjänster, digitala konsumentprodukter, eller varför inte digital-teve. Här handlar det om användning som användaren självmant väljer, och situationer där det nästan alltid finns flera alternativa erbjudanden. Användningen, upplevelsen eller köpbeslutet påverkas till viss del av produktens nytta och användbarhet, men än mer av kvaliteter som tillfredsställelse, symbolvärde, åtråvärdhet och välbefinnande. Detta är i allt väsentligt de kvaliteter som de traditionella designdisciplinerna hanterar.

En annan avgörande utvecklingslinje är sammansmältningen av fysisk och digital form, fysiska och digitala rum. I och med utvecklingen av ubiquitous computing, tangible inter-

faces och digitala konsumentprodukter måste man konstatera att digitala produkter och tjänster idag allt mer sällan ur användarens perspektiv består av ren mjukvara. Återigen är betydelsen av traditionella designdiscipliner som industridesign och arkitektur uppenbar.

Den akademiska interaktionsdesignforskningen i Sverige håller sig rimligt väl framme, med god representation i den centrala litteraturen och i de nätverk som formar ämnets utveckling. Geografiskt sett finns de tydligaste kraftsamlingarna i Stockholm, Malmö och Umeå. Verksamheten i Göteborg, som ett tag var ledande inom vissa områden, har delvis förskjutits till Stockholm.

Marknaden för interaktionsdesign motsvarar teknikutvecklande aktörer som koncentrerar sig på användare och användning, eller som borde göra det. Den marknaden motsvarar väsentligen tillämpningsområdena Telekom, Fordon, Upplevelseindustri, Vård och hälsa, och Offentlig förvaltning, och den måste sägas vara stor och växande i Sverige.

Den svenska interaktionsdesignbranschen (företag som sysslar kommersiellt med interaktionsdesign) består dels av designavdelningar in-house på större företag och organisationer, dels av konsultföretag och dels, främst inom upplevelseindustrin, av produktutvecklande företag och produktionsbolag. Branschen är inte särskilt stor i absoluta tal och de senaste åren har visat att den dessutom är konjunkturkänslig – under IT-depressionen valde många verksamheter att först anställningsstoppa inom »mjukare» områden eller till och med friställa medarbetare. De senaste arton månaderna har samma områden expanderat i snabb takt och för ögonblicket ropar branschen efter utbildade interaktionsdesigner.

Internationellt sett domineras FoU-området interaktionsdesign av Nordamerika och Europa, där en betydande del av de starka FoU-miljöerna har sina rötter i akademiska kraftsamlingar inom människa-datorinteraktion, informatik och datalogi (Stanford, MIT, Carnegie-Mellon, Toronto, Fraunhofer, Cambridge UK, m.fl.). De kompletteras med ett antal starka miljöer som ursprungligen växt fram inom designområdet (Chicago, Milano, Helsingfors, m.fl.). FoU-miljöer i Asien och Australien är på snabb tillväxt – platser som Bangalore och Brisbane kommer på sikt att låta tala om sig – men är ännu inte fullt etablerade. Den internationella branschen är strukturellt lik den svenska. När det gäller marknaden kan vi att notera den teknikutvecklande branschen ligger före interaktionsdesignbranschen och -forskningen i vissa delar av världen, vilket kan sägas representera ett ännu outnyttjat utrymme för avsättning av FoU inom interaktionsdesign.

Sammantaget pekar utvecklingen i riktning mot ett FoU-område som kombinerar flera akademiska discipliner, från humanvetenskaper (ergonomi, kognitionsvetenskap, och sociologi) till estetiska discipliner (industridesign, arkitektur, och i viss mån grafisk formgivning) och teknikvetenskapliga områden (datavetenskap, elektronik, mekatronik, och i viss mån materialvetenskap). Det är inte frågan om att addera de olika disciplinerna utan snarare att finna en syntes – för att använda Jantsch:s bekanta begrepp handlar det om ett tvärdisciplinärt område snarare än ett mångdisciplinärt. Interaktionsdesign ska förstås som en självständig designdisciplin som utvecklar kunskap om de digitala designmaterialets specifika egenskaper och de specifika möjligheter som de erbjuder användarna.

I ett större IKST(m)-sammanhang är interaktionsdesignens roll att svara för forskning och utveckling utgående från användare och användning. En viktig poäng är att interaktionsdesign inte bara strävar efter att identifiera och uppfylla existerande användarbehov, utan även att skissera möjliga framtider: produkter och tjänster i användningssituationer som inte finns idag, för användargrupper som inte finns idag. Genom att gestalta sådana möjligheter i form av skisser, visualiseringar, prototyper och dramatiseringar kan de värderas och vidareutvecklas innan dyrbara resurser måste anslås till att bygga och

Slutsatsen är att interaktionsdesign bör vara en integrerad del av det större FoU-systemet inom IKST(m).

driftsätta dem. Men en annan viktig poäng är att interaktionsdesign kräver ett djupt tekniskt kunnande för att inte stanna vid orealistiska koncept: Vilka av de tänkta användarfunktionerna är tekniskt möjliga idag, om tre år, om fem år? Vilka konsekvenser har de aktuella tekniska utvecklingstendenserna för användare och användningssituationer? Hur kan innovativa interaktionsidéer

»skissas» snabbt i partiella implementationer för att kunna värderas? Slutsatsen av ett sådant resonemang är att interaktionsdesign bör vara en integrerad del av det större FoU-systemet inom IKST(m).

Om vi studerar relationerna mellan Interaktionsdesign och de tillämpningsområden vi identifierat, finner vi följande fördelning. Speciellt höga krav på grundläggande användbarhet och nytta finner vi i områdena Process och Automation samt i Flyg och Rymd, där det handlar om manöversystem och liknande som ska kunna användas effektivt och felfritt, ofta i säkerhetskritiska situationer. Speciellt höga krav på estetiska kvaliteter, symbolvärde och andra traditionella kvaliteter finner vi i områdena Telekom, Fordon och Upplevelseindustri. Slutligen är kraven på innovation kring nya produkter och tjänster speciellt höga i områdena Telekom, Upplevelseindustri, Energi- och Miljöteknik, Vård och Hälsa samt Offentlig Förvaltning och Utbildning.

7. Bedömningar av tillämpningsområdenas potential och forskningsområdenas förutsättningar i Sverige

Panelens rekommendation är att systemperspektivet måste kraftfullt lyftas fram i den framtida forskningen om Sverige skall kunna behålla sin världsledande position inom de stora svenska exportnäringarna, samt driva på andra industrier som är i en växande fas samt utveckla nya möjligheter i offentlig verksamhet. Denna forskning skall innehålla väsentliga delar av **systemteknik**, **programvaruteknik** och **interaktionsdesign**. Dessa discipliner bildar tillsammans en viktig helhet som omfattar allt ifrån hur hårdvara fogas samman med mjukvara, de program som utför själva informationsbehandlingen, de maskiner som skall drivas med systemen, och i slutändan även de användare som skall använda systemen på till exempel industrigolvet, via offentlig förvaltning och hela vägen in i hemmiljön.

Panelen vill vidare hävda att det finns tillämpningsområden där forskningen inom IKST(m) kan göra mer nytta än i andra, och detta genom satsningar på specifika forskningsområden där forskningspotentialen bedöms som stor, och samtidigt ökade forskningsinsatser inom dessa bedöms leda till förbättrade förutsättningar för de olika tillämpningsområdena. Sådana satsningar bör ske med ett konsekvent systemperspektiv där helheten är lika viktig som de olika komponenterna.

En första aspekt som panelen anser är viktig, är att se till att Sverige bibehåller och vidareutvecklar sin ledande ställning inom tillämpningsområden där svensk industri redan är stark såsom **Telekom**, **Fordon**, **Process och automation**, **Råvaruindustri**, och **Flyg och rymd**.

En andra viktig aspekt är att utveckla tillämpningsområden där ny industri växer fram i Sverige och har potential att växa ännu mer framöver såsom **Upplevelseindustri** och **Energi- och miljöteknik**. En tredje aspekt som panelen har valt att prioritera är att stödja forskning som har tydlig koppling till områden där möjligheterna och användningen för IKST(m) bedöms som stora och kan ge stora kvalitetsförbättringar, men också effektivare och mer kostnadseffektiva lösningar för företag, individ och samhälle. Dessa områden är **Vård och hälsa** samt **Offentlig förvaltning och utbildning**.

Gemensamt för samtliga områden är att det i varierande grad finns behov som ligger utanför möjliga effekter av IKST(m). Behov inom t.ex. Vård och hälsa kan i flera viktiga fall åtgärdas med teknik på dagens nivå men ofta hindras detta av strukturella och organisatoriska förhållanden.

Panelen har valt ut ett antal forskningsområden som har bedömts ha stor potential för olika tillämpningsområden. I detta urval har panelen tagit hänsyn till en bedömning av förutsättningarna för svensk forskning på området idag. Faktorer som kritisk massa av forskare samt forskningens internationella position har vägt tungt i detta. Även en bedömning av om området kan nå forskningsfronten inom rimlig tid med rimliga resurser har vägts in. I det följande lyfts de forskningsområden fram som både har speciellt goda forskningsförutsättningar och som via viktiga tillämpningsområden har bedömts ge förutsättningar för ökad ekonomisk tillväxt, ökade chanser för företag att växa på marknaden samt att leverera stor användarnytta.

Inom forskningsområdet **Nät** finns det en intensiv forskning över hela världen men Sverige ligger fortfarande bra till. Fokus inom området är nästan uteslutande på paketförmedlade nät med syftet att utgöra grunden för kommande Internettillämpningar. Panelen anser att området har störst betydelse för Telekom, Fordon, och Upplevelseindustrin.

Forskningsområdet **Inbyggda system** handlar om datorsystem som är integrerade i andra produkter som t.ex. i en bil eller i en mobiltelefon. **Autonoma system** är också inbyggda system men agerar självständigt och är inte minst intressanta i komplexa miljöer, t.ex. i form av robotar eller obemannade flygplan. Panelen har bedömt att forskning inom området Inbyggda och autonoma system har störst betydelse för Telekom, Fordon, Process och Flyg och Rymd.

I det viktiga gränssnittet mellan hårdvara och mjukvara har forskningen inom **Systemarkitektur** sitt fokus. Systemarkitektur handlar om den struktur som definierar hur system bestående av mjuk- och hårdvarukomponenter är uppbyggda. Panelens bedömning är att området har störst betydelse för Telekom, Fordon, Process och automation samt Flyg- och rymdindustrin.

Forskningsområdet **Radio** handlar om olika aspekter och tillämpningar av hur radiovågor används för överföring av information, t.ex. mobilt bredband. Att alltför få utrustas med radiosändare/mottagare gör att området blir allt viktigare. Panelen har bedömt att området är viktigast för Telekom, Fordon, och Råvaruindustri.

Digital signalbehandling handlar om digital representation, mätning och filtrering av olika typer signaler (t.ex. röst, ljud och radar) och hantering av störningar, t ex brus i dessa. Viktiga tillämpningar finns inom en rad områden som till exempel tal- och videokodning i mobiltelefoner samt bildbehandling, talteknik, reglerteknik och medicinsk teknik. Panelen anser att satsningar på forskning med tillämpningsfokus på Telekom samt Vård och hälsa har störst potential.

Sensorsystem bygger på olika typer av sensorer som kan användas för att fånga upp och mäta strålning, ljus, ljud, temperatur, vibrationer m.m. Sensorer används nästan dagligen av många människor i vardagssituationer, och det kanske vanligaste exemplen är i bilar och i digitalkameror. Sensornät består av autonoma sensorer som tillsammans kan användas för övervakning av det fysiska rummet. Panelen har bedömt att forskning om Sensorsystem har störst effekt med en inriktning mot tillämpningsområdena Fordon, Vård och hälsa samt Energi- och miljöteknik.

Simulator teknik handlar om simulering av fysiska miljöer och tekniska system för operatörsinteraktion. De tidigaste exemplen inom området är kör- och flygsimulatorer men nu växer antalet tillämpningsområden. Området är en viktig komponent för forskning, design, produkttestning, utbildning och numera även för upplevelseindustrin. Panelen har bedömt att forskning om simulator teknik gör störst nytta med fokus på Upplevelseindustri samt inom Vård och hälsa.

Simulering och beräkningsteknik kommer förutom i många inomvetenskapliga sammanhang in i allt fler verksamheter från sinsemellan rätt skilda områden såsom sökmotorteknologi eller design och konstruktion av mobilsystem. Till de större simulerings- och beräkningstekniska uppgifterna hör särskilt fältproblem (partiella differentialekvationer), statistisk analys och reglerteknik. Panelens bedömning är att forskningsinsatser inom området med riktning mot Fordon, Process och automation och Energi- och miljöteknik är av störst strategisk betydelse.

Knowledge discovery och visualisering är området som tar sig an att utvinna och visualisera information för att extrahera kunskap och möjliggöra nya upptäckter inom det område som brukar betecknas eScience men som också har tillämpningar utanför akademien när det gäller t ex att fusionera och analysera sensordata inom processindustrin eller ge möjlighet till avancerad hantering av diagnostiska data inom hälso- och sjukvård.

Panelen bedömer att satsningar inom området har störst betydelse inom Process och automation samt Vård och hälsa.

Informationssystem- och databasteknik handlar om att stödja utvecklingen inom olika typer av organisationer med framförallt olika databastekniker. En viktig del är verksamhetsanalys och hur den kan modelleras för att analysera hur verksamheter kan stödjas och utvecklas med mjukvara. Ett viktigt tillämpningsområde är beslutsstöd och kunskaps-hantering/spridning. Panelen har bedömt att satsningar inom området gör störst nytta inom Energi- och miljöteknik samt Vård och hälsa.

Området **Drift och underhåll** får allt större betydelse för den svenska industrin. Det handlar om att övervaka och sköta drift och underhåll av fabriker, utrustning, fordon och stora komplexa system. IKST(m) ger nya möjligheter att analysera de stora datamängder som kommer från sensorer, historiska data och samband som finns i moderna system. Panelen bedömer att forskningsinsatser med riktning mot Fordon, Process och automation, Flyg och rymd samt Energi- och miljöteknik gör störst nytta.

Tillämpningsområdet **Offentlig förvaltning och utbildning** skiljer ut sig genom att systemorienterad forskning inom IKST(m) med anknytning till området är begränsad idag enligt panelens bedömning. Panelen ser dock en mycket stor potential för tillämpning av forskning inom IKST(m) framförallt inom områdena Knowledge discovery och visualisering samt Informationssystem- och databasteknik.

8. SSF:s tidigare satsningar inom IKST(m)

Stiftelsen var under några år på 1990-talet en ledande finansiär av svensk (mjuk) IT-forskning, som då befann sig under ganska stark utbyggnad, med tre stora systeminriktade program och ett antal nätverk och forskarskolor.

Efter sekelskiftet utlyste stiftelsen 2001 ett ramprogram som efter en förlängning 2005 totalt kom att omfatta 245 Mkr. Utlysningen formulerades med tyngdpunkter på två områden, kommunikationsteknik respektive inbyggda system, men var i princip öppen för hela det mjuka IT-området. De fördelade anslagen uppvisar ungefär samma fördelning, med flera ramanslag inom både kommunikationsområdet (trådlösa tjänster/infrastrukturer, fast och trådlös Internetteknik, mobila tjänster) och inbyggda system (autonoma system, reglersystem, processdiagnostik, säkerhetskritiska fordonssystem och interaktion). Övriga anslag gick till områdena modellering och visualisering, programvaruteknik, formell verifiering och bildbehandling. Åren 2005-07 kan stiftelsen med sina totalt i genomsnitt ca 100 Mkr/år uppskattas ha finansierat ca 25 procent av den icke-industriella kontraktsforskningen i landet. Detta inkluderar då även under perioden nystartade Strategiska forskningscentra, liksom stiftelsens olika individuella anslag inom området, bland annat inom programmet Framtidens Forskningsledare.

9. Riktlinjer för framtida utlysningar

Som framgår av panelens beskrivningar av nuläge och framtid för tillämpningar och grundläggande forskning inom IKST området består den omedelbara och övergripande utmaningen i att designa, utveckla och driva komplexa system. Denna insikt har stor påverkan på hur projekt som finansieras av en framtida utlysning bör utformas. Det är panelens åsikt att det är av yttersta vikt att ett systemtänkande genomsyrar projekten och motiverar den disciplinära metodforskning som genomförs samt att resultaten av metodforskning återkopplas in ett fungerande system för att utgöra grund för vidare utveckling. Panelen föreslår därför att projekt/program bör bestå av tre huvudkomponenter:

- en konkret demonstrator vilken kan vara fysisk med mjukvarukomponenter eller virtuell i form av en fungerande komplex mjukvara;
- systemorienterad forskning och/eller kompetens;
- disciplinär metodforskning.

Samspelet mellan dessa tre områden visas i figur 2. Tanken är att demonstratorn skall designas ur ett systemperspektiv och konkreta problemställningar för disciplinär metodforskning hämtas från demonstratorn. Lösningar som tas fram genom metodforskning integreras därefter i demonstratorn vilket säkerställer att komplexitets- och integreringsaspekter genomsyrar alla steg i projektet.

Projekt kan med fördel ha sin forskningstygdpunkt i olika delar av triangeln, men måste innefatta grundläggande kompetens inom alla områden för att erhålla finansiering. Detta leder till en naturlig uppsättning utvärderingskriterier, enligt följande.

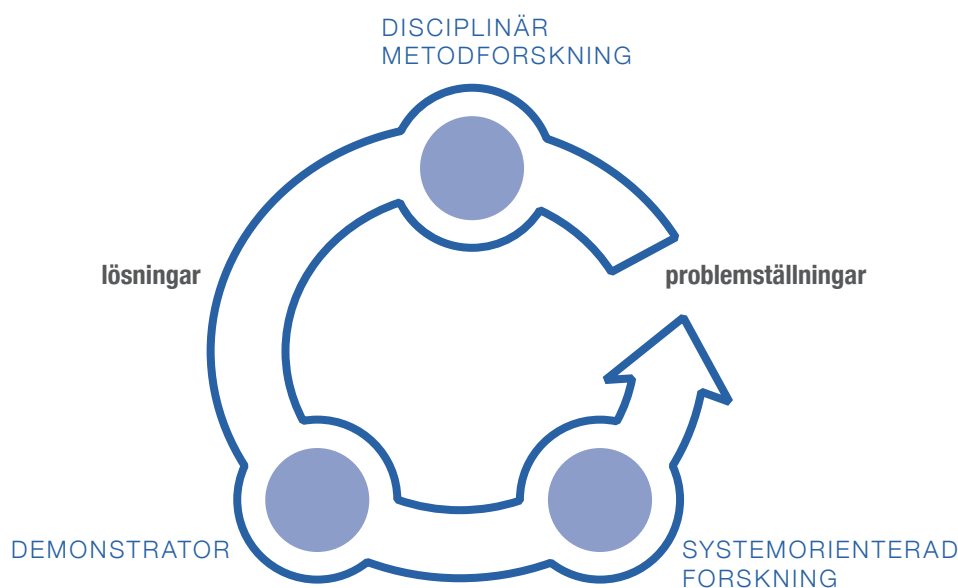
Demonstrator: nyhetsvärde; kommersialiseringspotential; genomförbarhet.

Systemorienterad forskning/kompetens: nyhetsvärde; vetenskaplig kvalitet; genomslag; grundläggande kompetens.

Disciplinär metodforskning: nyhetsvärde; vetenskaplig kvalitet; genomslag; grundläggande metodkompetens.

Övergripande: balans mellan de olika insatserna; forskargruppens sammansättning; forskargruppens meritering.

Figur 2. Samspelet mellan de tre komponenterna i ett FoU-projekt.



Panelens sammansättning

Sven-Christer Nilsson, Ripasso AB, ordförande.

Ola Knutsson, Skolan för datavetenskap och kommunikation, Kungliga Tekniska högskolan, sekreterare.

Jakob Axelsson, Volvo Car Corporation och MRTC, Mälardalens högskola.

Magnus Larsson, Corporate Research, ABB AB.

Jonas Löwgren, Konst, Kultur och Kommunikation, Malmö högskola.

Östen Mäkitalo, Kommunikationssystem, Radiosystemteknik, Kungliga Tekniska högskolan.

Juni Palmgren, Inst f medicinsk epidemiologi och biostatistik, Karolinska Institutet och Inst f matematisk statistik, Stockholms universitet.

Per Stenström, Data- och informationsteknik, Chalmers tekniska högskola.

Gustaf Söderlind, Matematikcentrum, Lunds universitet.

Olle Viktorsson, KI/Ericsson AB.

Anders Ynnerman, Institutionen för teknik och naturvetenskap, Linköpings universitet.

CV: SVEN-CHRISTER NILSSON

Nuvarande större styrelseuppdrag

- 2005– Ordförande i Swedish ICT Research AB, moderbolag till bl a Acreo och SICS.
- 2003– Ordförande för Förvaltningsstiftelsen för Sveriges Radio AB, Sveriges Television AB och Sveriges Utbildningsradio AB. Stiftelsen är ensamägare till de svenska public service-bolagen.
- 2002– AssaAbloy AB (publ).
- 2000– CEVA, Inc., San Jose, Calif., USA. Ledande utvecklare av DSP-system och programvara.
- 2000– Ordförande i SIQ, Stiftelsen för Kvalitetsutveckling.

Arbetslivserfarenhet

- 2005– Stödjer utvecklingen av små teknikbolag. Styrelsearbete.
- 1999–2005 Grundare av och partner i Startupfactory B.V., ett riskkapitalbolag specialiserat på små teknikbolag.
- 1982–99 Ericssonkoncernen. Ledande positioner inom varierande områden såsom mikroelektronik, mobiltelefoner, mobiltelefonsystem, bl a 1998–1999 Verkställande direktör och koncernchef; 1992–1998 Affärsenhetschef, mobilsystem enl. amerikansk standard; 1992 Affärsenhetschef, mobilväxlar; 1989–1991 Verkställande direktör, Ericsson Radio Systems Sverige AB.
- 1978–82 Inter Innovation AB, marknadschef mm. Det entreprenörsstyrda utvecklingsbolaget lanserade ett flertal produkter inom sedelhantering i banker såsom mekanismer för uttagsautomater.
- 1970–78 Saab-Scania AB, varierande utvecklingsuppgifter inom systemteknik och kommunikationsteknik och försäljning av kassaterminalsystem för banker, varav ett flertal år i USA.

Utbildning

- 1968 Fil. kand vid Lund universitet i matematiska ämnen (informationsbehandling), teoretisk fysik.

Övrigt

Ledamot av Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademin och ordförande i dess Avdelning VI, Företagande och arbetsliv.

CV: OLA KNUTSSON

Akademiska examina

- | | |
|------|---|
| 2005 | Fil. Dr. i människa-datorinteraktion, Developing and Evaluating Language Tools for Writers and Learners of Swedish. |
| 2001 | Fil. Lic. i människa-datorinteraktion, Automatisk språkgranskning av svensk text |
| 1997 | Fil. Kand. i datorlingvistik. |

Anställningar

- | | |
|-------|---|
| 2006– | Forskare, CSC, KTH. |
| 2006 | Gästforskare, Islands universitet, Island. |
| 2005 | FoFu-ingenjör, Nada, KTH. |
| 1999 | Doktorand i människa-datorinteraktion, Nada, KTH. |
| 1998 | Forskningsingenjör, Nada, KTH. |
| 1997 | Datorlingvist, Telia Promotor. |

Aktuell forskningsinriktning

Utveckling och användning av empiriskt grundad språkteknologi i interaktiva språk-inlärningsmiljöer. Forskningen grundas i sociokulturell teori (Vygotskyan), och hur denna kopplas till design, lärande och språkteknologi.

Förtroendeuppdrag

Regelbunden granskare av artiklar för internationella tidskrifter och konferenser.

Utmärkelser och erkännanden

- | | |
|------|---|
| 2001 | Forskningsstipendium från Svenska Akademien. |
| 2005 | Second Best Paper Award, Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing (CICLing), Mexico. |

CV: JAKOB AXELSSON

Akademiska examina

- 1997 Tekn. Dr., Inst. för datavetenskap, Linköpings universitet. Avhandlingens titel: Analysis and Synthesis of Heterogeneous Real-Time Systems.
- 1995 Tekn. Lic., Inst. för datavetenskap, Linköpings universitet. Avhandlingens titel: Schedulability-Driven Partitioning of Heterogeneous Real-Time Systems.
- 1993 Datavet. Mag., Linköpings universitet och Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Yrkeserfarenhet

- 2004– Adjungerad professor i datateknik med inriktning mot mjukvara och systemteknik vid inst. för datavetenskap och elektronik, Mälardalens högskola, Västerås.
- 2001– Ansvarig för förberedande utveckling inom enheten för el-och elektronikersystem vid Volvo Personvagnar AB, Göteborg.
- 2001 Konsult vid Carlstedt Research & Technology, Göteborg.
- 1997–2001 Utvecklingsingenjör på Volvo Teknisk Utveckling AB i Göteborg, med projektledningsansvar för utvecklingsprojekt inom systemarkitektur och ansvarig för teknikområdet Systems Engineering.
- 1993–97 Doktorand vid inst. för datavetenskap, Linköpings universitet.
- 1992–93 Mjukvaruutvecklare på ABB i Baden, Schweiz.

Forskningsinriktning

Metoder för utveckling av komplexa datorbaserade system. Inom den akademiska verksamheten är fokus industrinära forskning om metoder för att fatta beslut i tidiga faser inom utvecklingen av komplexa distribuerade realtidssystem. På Volvo Personvagnar ansvarar han för den långsiktiga teknikutvecklingen inom områdena el, elektronik och mjukvara, vilket innefattar ett antal projekt inom elektronikersystemarkitektur, programvaruarkitektur, nya fordonsfunktioner inom säkerhet, människa-maskin-gränssnitt, infotainment, och sensorutveckling. Han samordnar också motsvarande aktiviteter inom Fordkoncernens europeiska delar, och utformar strategier inom området.

Författare till ca 35 vetenskapliga publikationer. Huvudhandledare för två doktorander på Mälardalens högskola samt industriell handledare för två industridoktorander på Volvo Personvagnar, där han även ansvarar för industridoktorandprogrammet inom el-och elektronikersystem med totalt fem doktorander.

Förtroendeuppdrag

Styrelseordförande för de nationella forskarskolorna ARTES och SAVE-IT. Tidigare styrelseordförande och styrelseledamot i den svenska avdelningen av INCOSE (International Council on Systems Engineering), styrelseledamot på inst. för datavetenskap vid Linköpings universitet och styrelseledamot på sektionen för matematik och datavetenskap vid Chalmers tekniska högskola.

Priser, etc.

Bästa examensarbete vid Linköpings tekniska högskola (1993). Harold Lawson-priset vid inst. för datavetenskap, Linköpings universitet (1995). Bästa lärare på datavetenskaplig linje samt nominerad till Gyllene moroten vid Linköpings universitet (1998).

CV: MAGNUS LARSSON

Magnus Larsson is a Research manager at ABB Corporate Research where he is globally responsible for software research within ABB. The software research program has an annual budget of 10 MUSD used to carry out research in five countries with 60–70 researchers. He received a B.Sc. in computer engineering from Mälardalen University in 1993 and a M.Sc. in computer science from Uppsala University in 1995. Magnus achieved a PhD in computer science 2004 studying how to predict quality attributes in component-based software systems. Magnus' current research interests are component-based software engineering and software architecture. During his years at ABB, Magnus participated in the development of object management facility (OMF), a distributed object oriented middleware, which was awarded the second prize in the OMG/Object Worlds competition for the best use of object technology in 1997.

Professional Preparation

2004	Ph.D in Computer Science and Engineering, Mälardalen University, Västerås, Prediction of quality attributes in component based software systems.
2000	Ph.Lic in Computer Science, Uppsala university, Component based software engineering.
1995	M.Sc. in Computer Engineering, Uppsala University, Cross middleware communications.
1993	B.Sc. in applied computer science, Mälardalen University, Västerås, Language construction for middleware testing.

Employments

2007–	Adjunct Professor, Industrial Software Engineering, Mälardalen University, Sweden.
2006–	Group manager, ABB AB, Corporate Research, Västerås, Sweden.
2003–	Research program manager, ABB AB, Corporate Research, Västerås, Sweden.
2002	Visiting researcher at Software Engineering Institute/Carnegie Mellon University, USA.
1999–2004	Industrial PhD student, ABB Process Automation, Västerås, Sweden.
1993–2003	Software developer and engineer, ABB Automation Technology, Västerås, Sweden.

Merits of Relevance

During 2006 represented ABB in VINNOVAs work to develop a research strategy for the electronics area. VINNOVA Reference and Review committee for the Network-based Software Engineering Program, 2005. Member of the industrial advisory group for SSF project FLEXCON – Flexible Embedded Control Systems, 2003–2005. Program Co-Chair of Component-Based Software Engineering track at the 30th Euromicro conference, Porto, Portugal, August 30st –September 3rd, 2005.

CV: JONAS LÖWGREN

Akademiska examina

- 1995 Docent i människa-datorinteraktion, Linköpings universitet.
- 1991 Tekn. dr. i datavetenskap, Linköpings universitet.
- 1987 Civ. ing. i datateknik, Linköpings universitet.

Anställningar

- 1999– Professor i interaktionsdesign, Malmö högskola (tjl. 2001–2002).
- 2001–02 Forskningschef vid institutionen för Animation och animerad film, Konstfack.
- 2000– Adjungerad professor i design och digitala medier vid Blekinge Tekniska Högskola.
- 1997–99 Expert vid Malmö högskola, medgrundare av området för Konst, kultur och kommunikation.
- 1992–97 Universitetslektor i människa-datorinteraktion, Linköpings universitet.
- 1995–96 Vik. professor i informatik vid Lunds universitet (halvtid).
- 1994 Interaktionsdesigner, Telub Teknik, Linköping (halvtid).
- 1991–92 Interaktionsdesigner, UI Design, Linköping (halvtid).
- 1991–92 Vik. universitetslektor, Linköpings universitet (halvtid).
- 1987 Systemoperatör, Saab Flygdivisionen, Linköping.

Aktuell forskningsinriktning

Designorienterad forskning kring transmedieprodukter och kring interaktiv visualisering. Begreppsutveckling i riktning mot en designteori för de digitala materialen. Över 50 vetenskapliga publikationer, tre monografier och omkring 40 betydande designprojekt.

Samverkan med externa parter

Sedan 1993 projektledare för nio större samverkansprojekt med forskare, offentliga aktörer och sammanlagt ett femtiotal företag inom främst IT-, telekom-och mediebranscherna. Leder Malmö högskolas insatser i den regionala utvecklingen inom nya medier. Har genomfört ett tiotal större fortbildningsprojekt för företag och verksamheter. Regelbundet anlitad talare vid branschkonferenser. Medarrangör av Moving Images och From Business To Buttons.

Utvalda förtroendeuppdrag

- 2006– Medlem i Vinnovas programråd för IKT-användning.
- 2006– Medlem i styrgruppen för Linköping University Electronic Press.
- 2002–03 Ordförande i Nitas vetenskapliga råd.
- 1996–97 Medlem i styrgruppen för det nationella projektet Innovation of Engineering Education.

Utmärkelser och erkännanden

- 2007, 2002 Två gånger inbjuden till Dagstuhl-seminarier.
- 2001 Mottagare av Stimdis stora pris.
- 1997 Best Paper vid European Academy of Design.
- 1995 Invald medlem av Levande pedagogers sällskap.
- 1993–94 Vald till årets lärare två år i rad av studenterna i datavetenskap, Linköpings universitet.

CV: ÖSTEN MÄKITALO

Akademiska examina

- 1991 Tekn.Dr h.c., Chalmers Tekniska Högskola.
- 1962 Civilingenjörsexamen, Kungliga Tekniska Högskolan.

Yrkesverksamhet

- 2004– Gästprofessor KTH ICT – skolan Kista.
- 2003–05 SVP Mobile Business, TeliaSonera.
- 2000–02 SVP Strategi & Framtidsfrågor, Telia Mobile.
- 1998–2000 CTO & SVP, Telia Mobile.
- 1996–98 CTO, Telia.
- 1991–96 VD för Telias FoU-bolag Telia Research.
- 1977–91 Överingenjör och chef för Radiolaboratoriet.
- 1968–77 Avdelningsdirektör och chef för FoU sektion.
- 1962–2005 Anställd vid Televerket och dess efterföljare.

Entreprenöriellt

- 1966– Utredningar och FoU kring mobil telefoni.
- 1975–77 Utveckling av personsökningssystemet MBS (det första i världen med meddelanden).
- 1976 Utveckling av radio-datasystemet RDS som 1982 antogs av EBU som Europa-standard och 1986 av CCIR som världs-standard.
- 1975–78 Ansvarig för systemutvecklingen av nordiska mobiltelefonsystemet NMT.
- 1982–91 Medlem av den Europeiska GSM gruppen.
- 1987– Utveckling av och standardisering av det digitala TV-ljudet NICAM.
- 1990– Digital högupplösningstv. HD-Divine projektet demonstrerades med sådan framgång i Amsterdam 1992 att det innebar slutet på nya analoga TV system.
- 1995 Initiativ och förslag till dual-mode för GSM.
- 11 patent varav bl a ett avseende fundamentala principer för cellulära system.

Förtroendeuppdrag

Medlem och ordförande i nationella och internationella arbetsgrupper. Medlem och ordförande i bolags- och andra styrelser

Erkännanden

IVAs guldmedalj 1987. CCIRs hedersdiplom 1989 för betydelsefulla insatser inom radiotekniken. EBU:s diplom 1992 för utvecklingen och standardiseringen av RDS. KTH:s stora pris 1994. Konungens guldmedalj i 8:e storleken i serafimerordens band 2001 för betydelsefulla insatser inom främst mobiltelefonin.

CV: JUNI PALMGREN

Academic degrees

- 1989 Docent, Statistics, University of Helsinki.
- 1987 Ph.D. Department of Statistics, University of Helsinki: Models for Categorical Data with Errors of Observation.
- 1973 MSc, Department of Mathematics, University of Helsinki.

Professional experience

- 1999– Guest Professor of Biostatistics, Dept of Medical Epidemiology and Biostatistics, Karolinska Institutet, Stockholm.
- 1997– Professor of Biostatistics, Dept of Mathematics, University of Stockholm.
- 1995–97 Senior Scientist, Academy of Finland.
- 1994–95 Acting Professor of Epidemiology and Biostatistics, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden.
- 1988–89 NIH Fogarty international research fellow; Dept of Biostatistics, University of Washington, Seattle.
- 1985–94 Senior Scientist/Biostatistician, National Public Health Institute, Helsinki.
- 1978–85 Assistant Professor of Statistics, University of Helsinki.
- 1972–89 Assistant Professor of Statistics, Swedish School of Economics and Business Administration, Helsinki.

Current research interests

Statistical modeling in epidemiology and genetics, in particular multivariate latent variable models in the likelihood and Bayesian framework, design and analysis of large scale genomic studies and causal modeling and inference. Author of more than 80 papers on statistical theory, modeling and applications. Advisor of 10 graduate students and 4 post-docs.

Selected commissions of trust

Statistics Sweden: Science Board (Vetenskapliga Rådet) 1995–98, 1999–02. Rolf Nevanlinna Institute University of Helsinki: Scientific Board, 1996–98. The Royal Swedish Academy of Sciences: Vice Chairman for the National Committee for Mathematics 1989–. The Swedish Medical Products Agency (Läkemedelsverket): Scientific Board (Läkemedelsnamnden), (Vetenskapligt Råd) 1998, 1999–01. The Swedish Cancer Foundation (Cancerfonden). Scientific Evaluation Committee, Clinical Oncology (incl Epidemiology), 1999–. The Swedish Research Council, Scientific Evaluation committee for Mathematics and Technical Mathematics, 2001–2. Member of Committee for Research Infrastructure (KFI), Chair eScience subcommittee 2005–08. The Bank of Sweden Tercentenary Foundation: Evaluation committee (statistics) 2005–08. Stockholm Brain Institute: Scientific Board 2006–; Stockholm BioScience, Scientific Board 2006. The Finnish Statistical Society: Council member 1980–82, Vice president, 1981, President, 1982; The Finnish Society of Biostatistics: Vice President 1987–88, President 1991–92; International Biometric Society: Nordic Regional President 1992–93, IBS Council member 1994–98, 1999–02; The Swedish Association for Medical Statistics: President 1998–00.

Awards, honors and acknowledgements

Fellow of the International Statistical Institute, ISI, 1998. Doctor Honoris Causa in Medicine, Karolinska Institutet, 2007. Fellow of the Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, 2007.

CV: PER STENSTRÖM

Academic degrees

- 1993 Docent, Electrical and Computer Engineering, Lund University, Lund, Sweden.
- 1990 Ph. D, Computer Engineering, Lund University, Lund, Sweden.
- 1981 M.Sc., Electrical Engineering Lund University, Lund, Sweden.

Professional experience

- 2002–06 Guest Professor, Gothenburg University, Göteborg, Sweden.
- 2002–03 Visiting Professor, Sun Microsystems Inc. Menlo Park, U.S.A.
- 1995– Professor of Computer Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- 1993 Visiting Professor, University of Southern California, L.A., U.S.A.
- 1991 Visiting Professor, Stanford University, Palo Alto, U.S.A.
- 1988–95 Associate Professor of Computer Engineering, Lund University, Sweden.
- 1987–88 Visiting Scholar, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, U.S.A.
- 1984–87 Research Assistant, Lund University, Lund, Sweden.
- 1983–84 Systems Engineer, Asea AB, Lund, Sweden.
- 1981–83 Systems Engineer, Kockumation AB, Malmö, Sweden.

Research interests

Per Stenström's research focus over the last twenty years has been enhancements to multiprocessor computer architectures and especially to their memory system. His contributions to our understanding of cache coherence and latency tolerance awarded him the degree of Fellow of IEEE in 2007. His main thrust over the last ten years is to innovate with novel programming interfaces for multiprocessors to ease the task of writing software for multiprocessors. He has published more than 100 articles in international conferences and journals on these subjects and supervised ten Ph.Ds. He currently supervises five PhD students.

Selected commissions of trust

Founding partner of EU FP6/FP7 Network of Excellence on High-Performance Embedded Computer Architectures and Compilers. Chairman of the Swedish Research Council's (VR) evaluation panel in computer science (beredningsgrupp) (2001–2004). Editor of the following journals: IEEE Transaction on Computers (2000–2004), Journal of Parallel and Distributed Computing (since 1993), IEEE Computer Architecture Letters (since 2001). Founding editor-in-chief for Transactions on High-Performance Embedded Architectures and Compilers, since 2004. General chair (2001) and Program chair (2004) for IEEE/ACM International Symposium on Computer Architecture – the premiere forum for Computer Architecture research. Have been on over 50 conference program committees over the last 10 years. Founder and CEO/CTO of Nema Labs AB.

CV: GUSTAF SÖDERLIND

Nuvarande befattning

Professor i numerisk matematik, Lunds Universitet, sedan 1990.

Utbildning

1982 Tekn Dr, KTH.
1976 Civ. Ing., Teknisk fysik, KTH.

Tidigare befattningar

1987–90 Föreståndare för Institutet för Tillämpad Matematik, Stockholm.
1986–87 T.f. professor i numerisk analys, Lunds Universitet
1983–86 Universitetslektor i numerisk analys, KTH.

Urval av internationell akademisk erfarenhet

2005 Visiting professor, University of Auckland.
2004 Gästforskare, Université de Genève, Schweiz.
2001 Visiting professor, University of Auckland, Nya Zeeland.
1992 Visiting professor, Russian Academy of Sciences.
1989 Gästforskare, NTNU, Trondheim.
1985 Gästforskare, Stanford University, Kalifornien.
1982–83 Assistant Professor, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.

Urval av viktiga uppdrag:

1995– Granskare åt internationella forskningsråd som NFR (Norge), FWF (Österrike).
1992– Styrelseledamot Comsol AB, Stockholm.
1995–2000 Ledamot i Teknikvetenskapliga Forskningsrådet, TFR.
1992–95 Ledamot i programutskottet fysik och matematik, NFR.
1996–2001 Redaktör för ämnet numerisk analys i Nationalencyklopedien.
1999–2002 Styrelseledamot, Matematikcentrum, Lunds universitet.
1999–2001 Avdelningsföreståndare, Numerisk analys, Lunds universitet.
1995–98 Stf prefekt, Datalogi och numerisk analys, Lunds universitet.
1996–2005 Styrelseledamot i PDC (Superdatorcentrum, KTH).
1996–2001 Styrelseledamot LUNARC (Superdatorcentrum, Lund).
1995– Biträdande redaktör, BIT Numerical Mathematics.
1989–96 Styrelseledamot, Parallel computing program, NUTEK.
1985–89 Styrelseledamot, Computer aided control engineering, NUTEK.

Forskningsprofil

Främst konstruktion, analys och utveckling av adaptiva algoritmer för numerisk lösning av differentialekvationer, där metodik från reglerteknik och digital signalbehandling används för att styra de beräkningstekniska processerna i programvaran; även forskning inom icke-linjär funktionalanalys och stabilitetsteori, samt tillämpningar inom främst elektronik och mekanik. Har handlett sex doktorander till doktorsexamen.

CV: OLLE VIKTORSSON

Academic degrees

M.Sc. Electrical Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Professional experience

- 2006– Director External Research Relations, Ericsson Research, Ericsson, Stockholm.
- 1996–2006 Director IP Networks, Ericsson Research, Ericsson, Stockholm and with research branches in Finland, Germany, Hungary, Canada, USA and Japan.
- 1990–96 System Department Manager, Ellemtel Development Company, Stockholm, Sweden.
- 1987–90 New System Development, Ellemtel Development Company, Stockholm, Sweden.
- 1978–87 System Characteristics and Simulation, Ellemtel Development Company, Stockholm, Sweden.
- 1976–78 Manager of System Unit, Telephone Exchange Division, LM Ericsson, Stockholm, Sweden.
- 1971–76 System Management and Design, Telephone Exchange Division, LM Ericsson, Stockholm, Sweden.

Other tasks

- 2003– Ericsson coordinator of IETF standardisation.
- 2003– Ericsson representative in ISOC Advisory Council.
- 2007– Leader of Infrastructure panel in the IVA Internet Foresight project.
- 2007– Chair of FDF (Industrins Förening för Datorteknisk Forskning), FAV (Aktieägarförening i Swedish ICT Research) and member of SICS board.
- 2004–06 Ericsson representative in Artemis (EU platform for embedded systems).

Main research interest

IP based networks and systems with focus on large and complex system solutions as in, e.g., the EU FP7 project Ambient Networks and the earlier EU FP6 project BRAIN.

CV: ANDERS YNNERMAN

Academic degrees

- 1992 Ph.D., Physics Department, University of Göteborg, Göteborg, Sweden. Title: Atomic CoupledCluster Calculations.
- 1991 Fil.Lic. (M.Phil), Physics Department, University of Göteborg, Göteborg, Sweden. Title: CoupledCluster Calculations of Matrix Elements and Ionization Energies.
- 1986 B.Sc., Physics Department, University of Lund, Lund, Sweden and University of Sussex, Brighton, England. First Class Honors.

Professional experience

- 1999– Professor, Dept. of Science and Technology, University of Linköping, Norrköping.
- 1999– Director, Norrköping Visualization and Interaction Studio (NVIS), Dept. of Science and Technology, University of Linköping.
- 2002–06 Director, Swedish National Infrastructure for Computing (SNIC).
- 2002–03 Deputy Head of Department, Dept. of Science and Technology, University of Linköping.
- 1998–2002 Director, Swedish National Supercomputer Centre (NSC), University of Linköping.
- 1998–99 Lecturer, Department of Physics and Measurements, University of Linköping.
- 1997–98 Guest Researcher, Physics Department, University of Warwick, Coventry, England.
- 1995–97 Research Officer, Swedish Council for High Performance, Computing and Swedish and Council for Engineering Sciences, Stockholm, Sweden.
- 1993–95 Research Associate, Computer Science Dept., Vanderbilt University, Nashville, USA.
- 1992–93 Postdoc, Clarendon Laboratory, University of Oxford, Oxford, England.

Current research interest

Techniques for handling large-scale data sets in visualization and computer graphics. Interaction techniques for multidimensional scientific visualization. Use of haptic virtual reality for exploration of scientific data. Use of augmented reality in visualization. Author of more than 70 scientific papers involving large-scale computation and/or visualization work. Currently advising 10 graduate students.

Entrepreneurial achievements

- 1996–99 Founded and directed the National Graduate School in Scientific Computing (NGSSC).
- 1998–2002 Director of the National Supercomputer Centre (NSC), which has become a focal point for high performance computing in Sweden.
- 2001 Cofounder of Center for Medical Image Science and Visualization (CMIV).
- 2000–05 Founder and director of Norrköping Visualization Studio (NVIS), which has generated several spinoff companies in visualization and physical simulation for computer graphics.
- 2004 Cofounder of Sciss AB a software company producing astronomical visualization software for planetariums.

Selected commissions of trust

Board member of the Swedish Research Council, Chair of the Swedish National Infrastructure for Computing Strategic Advisory Committee (STAC), Member of ESFRI expert panel on High Performance Computing, Swedish delegate to the European Electronic Infrastructure Reflection Group (eIRG), Member of the Research Collegium of the Foundation for Strategic Research (SSF), Board member of Swedish Computer Graphics Association (SIGRAD), Chairman 2001–03, Chairman of the Scientific Council at the Center for Medical Image Science and Visualization (CMIV), Board member and cofounder of Sciss AB.

Awards, honors and acknowledgements

Winner of Akzo Nobel Science Award (2007). Elected member of the Royal Engineering Science Academy (2006). Ranked No 14 on the Ny Teknik top 50 list of IT leaders in Sweden 2006 (Ranked 15 in 2005, 8 in 2004 and 31 in 2003). Ranked No 38 on the Ny Teknik top 50 list of the most influential people in science and Technology in Sweden 2004 (Ranked 33 in 2004, 43 in 2003). Nominated to the Golden Carrot award 2002 for best teacher of the year at LiU.