

# IT-alan merkitys yhteiskunnassa ja tutkimus- ja innovaatiotoiminnan kehittäminen

Matematiikka, sovellettu  
matematiikka, tilastotiede

Tietojenkäsittelytiede

Laskennalliset tieteet

- Mallipohjainen simulointi
- Data-analyysi



Editor: Pekka Neittaanmäki  
Covers: Kati Valpe

Copyright © 2014

Martti Lehto, Pekka Neittaanmäki ja Jyväskylän yliopisto

ISBN 978-951-39-6036-0 (verkkoj.)

ISSN 2323-5004

Jyväskylän yliopistopaino, Jyväskylä 2014

# IT-alan merkitys yhteiskunnassa ja tutkimus- ja innovaatio toiminnan kehittäminen

Martti Lehto, Pekka Neittaanmäki

## Johdanto

Tämä raportti on jatkoa 27.3.2014 julkaistulle raportille Jyväskylän yliopisto - ICT-alan innovatiivinen kehittäjä (Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, No. 11/2014).

Tässä raportissa syvennetään IT-alan merkitystä yhteiskunnan kasvun ja hyvinvoinnin edistäjänä. Lisäksi arvioidaan IT-alan vaikuttavuutta, rahoitusta ja ekosysteemin rakentumista.

Maan hallitus teki maaliskuun 2014 kehysriihessä päätöksiä, joilla halutaan panostuksia kasvun tukemiseen. Keskeisimmät panostukset liittyvät uutta kasvua ja tulevaisuutta luoviin osaamis- ja innovaatioinvestointeihin sekä nopeasti työllistäviin liikennehankkeisiin.

IT-alalla on keskeinen merkitys Suomen innovaatio toiminnan kehittämisessä ja uusien työpaikkojen synnyttämisessä.

## SISÄLLYS

1	TIETOTEKNIIKAN MERKITYS .....	4
2	INFORMAATIOTEKNOLOGIA JA TIETEEN NELJÄ PERUSPARADIGMAA.....	7
2.1	Tieteen neljä paradigmaa .....	7
2.2	Data-analyysin osaamisen tarve, Big Data – tieteen neljäs paradigma .....	8
3	EUROOPAN UNIONIN STRATEGISET LINJAUKSET .....	10
3.1	EU:n digitaalistrategia 2010.....	10
3.2	Eurooppa 2020 -strategia .....	10
3.3	Horisontti 2020 .....	11
3.4	Euroopan tutkimusneuvosto .....	13
4	IT JA KANSALLISET LINJAUKSET .....	14
4.1	Suomen digitaalinen agenda 2011 .....	14
4.2	Suomen kyberturvallisuusstrategia 2013 .....	14
4.3	Valtionhallinnon ICT:n kehittäminen.....	15
4.3.1	Kansallinen palveluväylä .....	15
4.3.2	SADe-hanke .....	16
4.3.3	Pilviväylähanke .....	17
5	IT-ALALLE KANSAINVÄLISET LUOKITTELUT .....	18
6	SUOMEN AKATEMIAN JA TEKESIN IT-ALALLE MYÖNTÄMÄ RAHOITUS 2009–2013	19
6.1	Suomen Akatemian myöntämä rahoitus.....	19
6.2	Tekesin myöntämä rahoitus .....	23
6.3	Tutkijakoulujen rahoitus.....	25
6.4	Rahoituksen suhde tuloksiin.....	26
7	KANSALLISEN TUTKIMUKSEN KANSALLINEN JA ALUEELLINEN EKOSYSTEEMI.....	28
8	INKA-KYBERTURVALLISUUSTEEMA .....	29
9	IT-ALAN KOULUTUS JA TYÖLLISYYS .....	32
	LÄHTEET .....	34
	LIITE 1: THE ACM COMPUTING CLASSIFICATION SYSTEM (CCS) .....	36
	LIITE 2: THE MATHEMATICS SUBJECT CLASSIFICATION (MSC) MSC2010 .....	67

## KUVIOT

KUVIO 1 Suomen Networked Readiness Index 2013 [6] .....	4
KUVIO 2 Tulevaisuuden systematisoidut IT- sekä materiaali- ja nanoteknologiat [1] .....	5
KUVIO 3 ICT ja Horisontti2020 -ohjelma .....	12
KUVIO 4 Suomen kyberturvallisuusstrategian visio [28] .....	15
KUVIO 5 Palveluväylä on tiedonvälityskonsepti [10] .....	16
KUVIO 6 SADe-ohjelman hankkeet [22] .....	17
KUVIO 7 Luokittelu .....	19
KUVIO 8 ACM:n luokittelu .....	20
KUVIO 9 Suomen Akatemian IT-alan rahoitus tieteenaloittain vuosina 2009—2013 ...	22
KUVIO 10 Suomen Akatemian IT-alan rahoitus yliopistoittain vuosina 2009–2013 .....	22
KUVIO 11 Tekesin rahoituspäätökset palvelutoimialoille .....	23
KUVIO 12 Tekesin rahoituspäätökset teollisuuden toimialoille .....	24
KUVIO 13 Tekesin rahoitus yliopistoittain vuosina 2010–2013 .....	24
KUVIO 14 Täydentävä rahoitus/tutkinnot .....	27
KUVIO 15 Jyväskylän yliopiston kyberturvallisuuden ekosysteemi .....	31
KUVIO 16 IT-alan työttömien työnhakijoiden jakauma koulutusasteittain 2010–2013	32
KUVIO 17 IT-alan työttömät työnhakijat maakunnittain 2010–2013 .....	33

## TAULUKOT

TAULUKKO 1 Suomen Akatemian myöntämä rahoitus vuosina 2009-2013 .....	21
TAULUKKO 2 Suomen Akatemian myöntämä rahoitus vuosina 2009-2013 .....	21
TAULUKKO 3 Tutkijakoulujen toiminnan tuloksellisuus vuosina 2002-2011 .....	25
TAULUKKO 4 Tohtorin tutkintojen kehitys Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnassa vuodesta 1998 .....	26

# 1 TIETOTEKNIIKAN MERKITYS

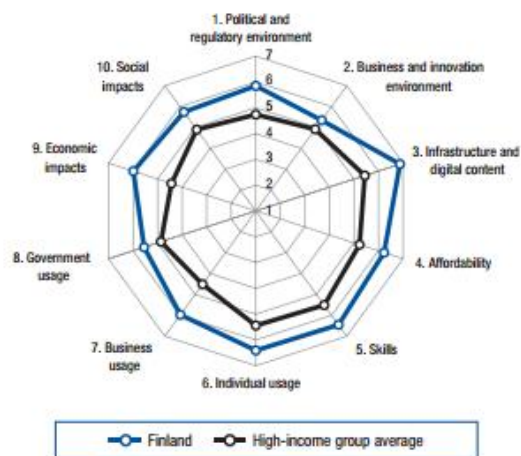
Tietotekniikan/informaatioteknologian (IT) merkitys on lisääntymässä maailmanlaajuisesti. IT koskettaa kaikkia ihmisiä ja maailmassa on enemmän tietoteknisiä laitteita enemmän kuin ihmisiä. Internet-liikenteestä 2/3 on robottien ja hakukoneiden aikaansaamaa. Tieto lisääntyy ja ennustetaan että 1/3 IT-alan työpaikoista liittyy tulevaisuudessa dataan. IT alan on erityisen tärkeä paitsi omana alanaan myös muiden alojen mahdollistavana teknologiana.

World Economic Forum's The Global Information Technology Report 2013 [6] states:

- Finland, Singapore and Sweden lead the Networked Readiness Index (NRI);
- To re-establish its competitiveness, the European Union must invest in a major upgrade to its fixed and mobile telecommunication network, a cost estimated at €250 to €320 billion. Failure to do so risks losing telecommunications leadership to the U.S. and Asia, where 4G mobile subscriptions already far outpace those in Europe;
- Most developing economies are failing to create the conditions needed to close the ICT-related competitiveness gap against advanced economies;
- "Big Data" is a new asset class with potential to revitalize the global economy and strengthen social cohesion. Broadband (especially mobile broadband) is the foundation to unlock this potential.

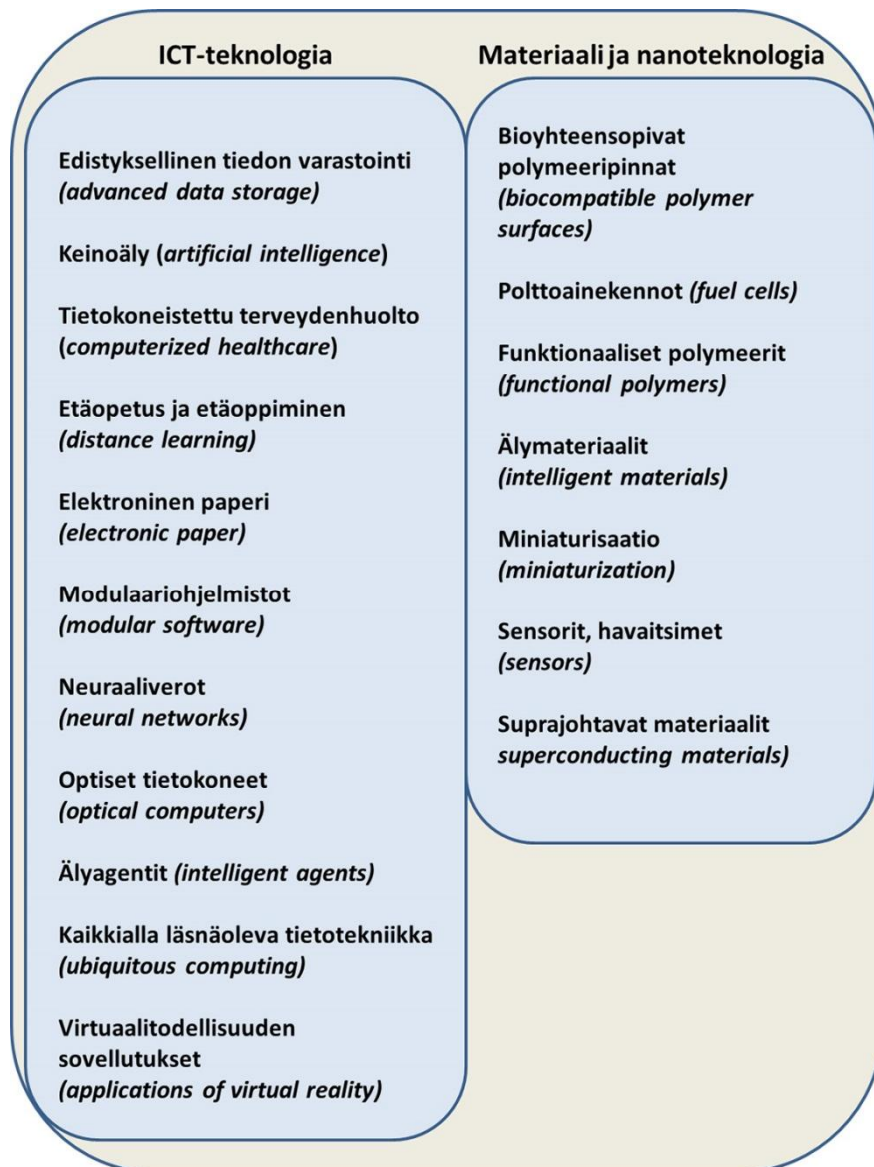
## Finland

	Rank (out of 144)	Score (1-7)
<b>Networked Readiness Index 2013</b> .....	<b>1</b>	<b>6.0</b>
Networked Readiness Index 2012 (out of 142) .....	3	5.8
<b>A. Environment subindex</b> .....	<b>3</b>	<b>5.6</b>
1st pillar: Political and regulatory environment .....	3	5.8
2nd pillar: Business and innovation environment .....	7	5.3
<b>B. Readiness subindex</b> .....	<b>1</b>	<b>6.5</b>
3rd pillar: Infrastructure and digital content .....	2	6.9
4th pillar: Affordability .....	19	6.2
5th pillar: Skills.....	1	6.5
<b>C. Usage subindex</b> .....	<b>2</b>	<b>6.0</b>
6th pillar: Individual usage.....	6	6.4
7th pillar: Business usage.....	3	6.0
8th pillar: Government usage.....	10	5.5
<b>D. Impact subindex</b> .....	<b>3</b>	<b>5.9</b>
9th pillar: Economic impacts.....	1	6.0
10th pillar: Social impacts.....	9	5.7



KUVIO 1 Suomen Networked Readiness Index 2013 [6]

OKM:n tutkimusraportin [1] mukaan "Vuoteen 2015 mennessä keskeisimmät teknologiset kehityslinjat ovat informaatio- ja kommunikaatioteknologia, bioteknologia ja materiaali- ja nanoteknologia. Bioyhteiskuntaoletuksen mukaisesti informaatio- ja kommunikaatioteknologiasta tulee enenevässä määrin perustyökalu erilaisten bio- ja nanoteknologian tuotteiden tuottamiseksi. Tätä kehityslinjaa korostavat *informaatiomassojen käsittelyyn ja työstämiseen* tähtäävät informaatio- ja kommunikaatioteknologian sovellukset. Tutkimustuloksista edistyksellinen tiedon varastointi, modulaariohjelmistot ja älyagentit korostavat tätä näkökulmaa. Toisena keskeisenä kehityslinjana on *eri aloille sovellettu informaatio- ja kommunikaatioteknologia*. Tästä esimerkkinä ovat tietokoneistettu terveydenhuolto, etäopetus ja etäoppiminen, kaikkialla läsnä oleva tietotekniikka ja virtuaalitodellisuuden sovellutukset. Kehitystyö ei kuitenkaan fokusoidu pelkästään sovelluksiin muilla aloilla, vaan *informaatio- ja kommunikaatioteknologian ala kehittyy* myös itsessään."



KUVIO 2 Tulevaisuuden systematisoidut IT- sekä materiaali- ja nanoteknologiat [1]

Kuten em. OKM:n raportti toteaa niin IT-alan koulutus (computing thinking-tyyppisenä) on tulossa yleissivistävään koulutukseen ja Suomessa siirrytään digitaaliseen kouluun. Lisäksi uudistettaessa julkisia palveluja (SOTE, sivistystoimi ym.) IT-ratkaisuilla ja prosessien mallittamisella ja optimoinnilla on keskeinen tuottavuutta lisäävä merkitys.

Tietoyhteiskuntakehitys vaikuttaa työorganisaatioihin ennen muuta kolmen ilmiön – informaatioteknologian, tietointensiivistymisen ja verkostoitumisen – välityksellä. [14]

ICT 2015 -työryhmän [26] mukaan "tietotekninen vallankumous on tähän mennessä näkynyt pääosin laitteiden tehostumisena ja yleistymisenä. Kansalaisten ja yritysten elämää helpottavien digitaalisten palveluiden aalloista ovat rantautuneet vasta ensimmäiset. ICT tulee muuttamaan maailmaa enemmän kuin sähkö aikanaan. Suomen on hypättävä eturivissä digitaalisen aallon rakentamiseen, jos maa haluaa kasvua ja hyvinvointia. Tämä edellyttää, että Suomi uudistuu kaikilla aloilla tuomalla digitaalisia elementtejä perinteiseen toimintaan. Tätä tarvitaan sekä yrityksissä että julkisella sektorilla. Näin nykyisten tuotteiden ja palveluiden kilpailukyky kasvaa ja samalla syntyy täysin uusia lisäarvoa tuovia ratkaisuja."



## 2 INFORMAATIOTEKNOLOGIA JA TIETEEN NELJÄ PERUSPARADIGMAA

### 2.1 Tieteen neljä paradigmaa

IT-ala kattaa neljä tieteen perusparadigmaa: teoreettinen, kokeellinen, mallipohjainen laskennallinen ja datapohjainen laskennallinen lähestymistapa. IT-alan koulutuksessa ja tutkimusrahoituksessa käytettävä terminologia ei ole vakiintunut. Selkeintä olisi käyttää yleisnimikkeenä informaatioteknologiaa tai tietotekniikkaa.

Opetusministeriön työryhmän [12] mukaan "laskennallisen tieteen kehittäminen on strategisesti tärkeää Suomen kilpailukyvyille. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan lisätä ymmärrystä yhteiskunnallisesti merkittävillä alueilla. Laskennallinen lähestymistapa vahvistaa moni- ja poikkitieteellistä tutkimusta sekä nopeuttaa ja tehostaa tuotekehitystä. Samalla vähennetään raja-aitoja tutkimusalojen välillä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Tämä lisää innovatiivisuutta ja tuottaa uusia läpimurtoja tutkimuksessa ja tuotekehityksessä."

Työryhmän mielestä "jotta laskennallista tiedettä voidaan täysipainoisesti hyödyntää, osaamista tulee kasvattaa kautta linjan peruskoulusta tutkijoihin ja professoreista toimitusjohtajiin. Lisäksi täytyy huolehtia laskennallisen lähestymistavan tarvitsemien infrastruktuurien rakentamisesta, ylläpidosta ja niiden tukipalveluista. Kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä tulee vahvistaa. Lisäksi yliopistojen tulee edistää laskennallisen tieteen tutkijanuramahdollisuuksia."

Kansainvälisesti monet merkittävät valtiot, kuten Saksa, Ranska, Yhdysvallat, Japani ja Kiina, ovat nostaneet laskennallisten tieteiden kehittämisen strategian osaksi kilpailukykyä. Euroopan unioni on vahvistamassa rooliaan erityisesti laskennallisten tieteiden infrastruktuurin kehittämisen osalta. [15][19]

Myös Suomen osalta on tapahtunut nopea murros tutkimusparadigmojen asettelussa. Lähes kaikilla tieteen aloilla tehdään tutkimusta laskennallisilla menetelmillä kokeellisten ja teoreettisten menetelmien lisäksi. Suomen kilpailukyvyn kannalta laskennallisten tieteiden kehittäminen on strategisesti tärkeää. Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitoksella on panostettu systemaattisesti laskennallisiin tieteisiin sekä maisteri- että tutkijankoulutuksessa.

Laskennallisissa tieteissä keskitytään matemaattisten mallinnusmenetelmien, todellisuutta jäljittelevien simulointimenetelmien, toimintaa parantavien optimointimenetelmien sekä laajojen tietoaisteistojen hallinnan mahdollistavien tiedonlouhintamene-

telmien teoriaan ja käytännön hyödyntämiseen, erityisesti tietokoneanimaatioissa. Projektiopinnoissa karttunutta osaamista sovelletaan oikean tieteellis-teknisen ongelman ratkaisemiseen ryhmässä. Sivuaeineopinnoissa matematiikalla on keskeinen merkitys sen tuottaman analyttisen ja käsitteellisen osaamisen vuoksi.

Laskennalliset tieteet koostuvat neljästä osa-alueesta:

- mallintamisesta, simuloinnista, optimoinnista ja säätöteoriasta
- datan käsittelystä, analyysistä ja päätöksenteosta
- visualisoinnista
- laskentaympäristöstä

Perinteisesti tutkimusmenetelmät on jaettu kahteen luokkaan: teoreettiseen ja kokeelliseen tutkimukseen. Laskennallinen tiede edustaa kolmatta tieteen paradigmaa. Siinä tietokoneen avulla simuloidaan reaali maailman ilmiöitä tai tilanteita, joita reaali maailmassa ei välttämättä vielä ole.

Laskennallisten menetelmien eli analyysin, mallinnuksen, simuloinnin, optimoinnin, data-analyysin ja tiedonhallinnan avulla voidaan hankkia syvempää tietoa eri asioiden riippuvuussuhteista ja hallita tehokkaammin kokonaisuuksia, riskejä ja epävarmuutta.

Nopea kehitys tietotekniikassa ja menetelmäosaamisessa mahdollistavat entistä monimutkaisempien ja realistisempien laskentamallien käyttöönoton eri alojen tutkimusongelmien ratkaisemiseksi. Näin vähennetään tuntuvasti tarvetta suorittaa erilaisia kalliita kokeita. Laskennallisten tieteiden menetelmillä voidaan hakea ratkaisuja ongelmiin myös tilanteissa, joissa riittävän tarkan ratkaisun saaminen perinteisillä keinoilla ei onnistu. Laskennalliset tieteet mahdollistavat tutkimus- ja innovaatiotoiminnassa sekä yritysmaailmassa tuloksia, joita ei tähän asti ole ollut mahdollista saavuttaa.

## 2.2 Data-analyysin osaamisen tarve, Big Data – tieteen neljäs paradigma

ICT 2015 työryhmä [26] toteaa: ”Digitaalisessa maailmassa informaation ja tallennetun tiedon määrä on valtava. Kun yhdistetään älykkäästi ja reaaliajassa näennäisesti turhaa tietoa, pystytään luomaan täysin uudentyyppistä, toimialojen rajoja rikkovaa tietoa. Big data on maailmalla kuuma tutkimuksen ja soveltamisen kohde. Suomen osaaminen tällä alueella on kapeaa, vaikkakin tietyiltä aloilta löytyy huippuosaamista. Big data liittyy läheisesti muihin Suomen kriittisiin avainosaamisalueisiin. Tietoliikenteen osajina olemme perinteisesti käsitelleet suuria datamääriä. Tietoturva on tärkeää kaikissa big data -tyyppisissä sovelluksissa ja tietovarannoista louhittavien tiedonjyvästen integrointi vaatii vahvaa ohjelmisto- ja tietojenkäsittelyosaamista. Julkisella puolella tietovarantojen avaaminen, yhteinen ICT -palveluarkkitehtuuri ja perinteisesti Suomessa hyvin toimiva julkinen – yksityinen -yhteistyö avaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia. Suurimmaksi ongelmaksi big data tiedon soveltamisessa ja tietojen avaamisessa toimijat kokevat, että organisaatioilla ei ole riittävästi asiantuntemusta. Organisaatiot tarvit-

sevat tähän osaajia ja koulutusta.”

Data-analyysin koulutusta ja tutkimusta tulee lisätä. Data analyysi tarvitsee omat erikoisosaajansa ja alan kehittymisen ja hyödyntämisen kannalta on merkittävää, että ala nostetaan omaksi maisteriohjelmakseen. Tutkinnon suorittaneet opiskelijat ovat yritysten näkökulmasta arvomuodostuksessa korkealla. Tutkinnon suorittaneet ovat tuottamassa informaatiota suoraan yritysten operatiiviseen päätöksen tekoon.

#### “Big Data and the Fourth Paradigm

Historically, the two dominant paradigms for scientific discovery have been theory and experiments, with large-scale computer simulations emerging as the third paradigm in the 20th century. In many cases, large-scale simulations are accompanied by the challenges of data-intensive computing. Overcoming the challenges of data-intensive computing has required optimization of data movement across multiple levels of memory hierarchies, and these considerations have become even more important as we prepare for exascale computing. The approaches taken to address these challenges include (a) fast data output from a large simulation for future processing/archiving; (b) minimization of data movement across caches and other levels of the memory hierarchy; (c) optimization of communication across nodes using fast and low-latency networks, and communication optimization; and (d) effective co-design, usage and optimization of system components from architectures to software. [23]

Over the past decade, a new paradigm for scientific discovery is emerging due to the availability of exponentially increasing volumes of data from large instruments such as telescopes, colliders, and light sources, as well as the proliferation of sensors and high-throughput analysis devices. Further, data sources, analysis devices, and simulations are connected with current-generation networks that are faster and capable of moving significantly larger volumes of data than in previous generations. These trends are popularly referred to as big data. However, generation of data by itself is of not much value unless the data can also lead to knowledge and actionable insights. Thus, the fourth paradigm, which seeks to exploit information buried in massive datasets to drive scientific discovery, has emerged as an essential complement to the three existing paradigms. The complexity and challenge of the fourth paradigm arises from the increasing velocity, heterogeneity, and volume of data generation.” [23]

## 3 EUROOPAN UNIONIN STRATEGISET LINJAUKSET

### 3.1 EU:n digitaalistrategia 2010

Digitaalistrategian [2] tarkoituksena on viitoittaa tie, jolla ICT:n yhteiskunnalliset ja taloudelliset mahdollisuudet voidaan hyödyntää mahdollisimman laajasti. Digitaalitekniikan laajempi ja tehokkaampi käyttö antaa Euroopalle mahdollisuuden vastata keskeisiin haasteisiinsa ja parantaa eurooppalaisten elämänlaatua esimerkiksi paremman terveydenhuollon, turvallisempien ja tehokkaampien liikenneratkaisujen, puhtaamman ympäristön, uusien viestintämahdollisuuksien sekä julkisten palvelujen ja kulttuurisisältöjen helpomman saatavuuden kautta.

Edelleen digitaalistrategian mukaan "älykäs teknologian käyttö ja informaation hyödyntäminen auttaa vastaamaan yhteiskunnan haasteisiin, kuten ilmastonmuutokseen ja väestön ikääntymiseen. Digitaalinen yhteiskunta on ymmärrettävä yhteiskunnaksi, joka tuo hyötyjä kaikille. ICT:n käyttöönotosta on tulossa perusedellytys sellaisten politiikan tavoitteiden saavuttamiselle kuin ikääntyvän yhteiskunnan tukeminen, ilmastonmuutoksen torjuminen, energiankulutuksen vähentäminen, liikenteen tehokkuuden ja liikkuvuuden parantaminen, potilaiden valtaistaminen sekä vammaisten osallisuuden varmistaminen." [2]

Sähköiset viranomaispalvelut ovat kustannustehokas tapa tarjota parempaa palvelua kaikille kansalaisille ja yrityksille sekä huolehtia osallistavasta, avoimesta ja läpinäkyvästä hallinnosta. Ne voivat vähentää julkishallinnolle, kansalaisille ja yrityksille koituvia kustannuksia ja ajanmenetystä. [2]

### 3.2 Eurooppa 2020 -strategia

Eurooppa 2020 -strategia tukee talouskasvua, joka on entistä älykkäämpää (tehokkaammat investoinnit koulutukseen, tutkimukseen ja innovointiin), kestävämpää (siirtyminen vähähiiliseen talouteen ja teollisuuden kilpailukyvyn vahvistaminen) ja osallistavampaa (vahva panostaminen työpaikkojen luomiseen ja köyhyyden vähentämiseen). Strategiassa keskitytään viiteen haastavaan tavoitteeseen, jotka koskevat työllisyyttä, tutkimusta, koulutusta, köyhyyden vähentämistä sekä ilmasto- ja energiakysymyksiä. [3]

Yksi lippulaivahankkeista on Älykäs kasvu [3], mikä tarkoittaa sitä, että EU:ssa:

1. parannetaan koulutustasoa – kannustetaan ihmisiä opiskelemaan ja jatkokouluttautumaan
2. lisätään tutkimusta ja innovointia – kehitetään uusia tuotteita ja palveluja, jotka luovat kasvua ja työpaikkoja sekä auttavat vastaamaan yhteiskunnallisiin haasteisiin
3. kehitetään digitaaliyhteiskuntaa – käytetään tehokkaammin tieto- ja viestintätekniikkaa

Käytännön tasolla EU pyrkii edistämään tavoitteita digitaalisilla sisämarkkinoilla, joilla käytetään nopeita tai ultranopeita internetyhteyksiä ja yhteen toimivia sovelluksia. Innovaatiounioni-hankkeessa kohdistetaan T&K- ja innovaatiopolitiikka yhteiskunnallisiin haasteisiin, joita ovat ilmastonmuutos, energia- ja resurssitehokkuus, terveys sekä väestönmuutos. Lisäksi vahvistetaan innovaatioketjun jokaista lenkkiä perustutkimuksesta kaupallisiin sovelluksiin. [3]

Suomen tavoitteena on keväällä 2013 julkaistun Eurooppa 2020 -ohjelman mukaan synnyttää uusia vahvuuksia lisäämällä innovatiivisten, nopeasti kasvavien ja kansainvälistyvien yritysten määrää. Tätä tukevia hankkeita ovat mm. INKA-ohjelma ja SHOK-hankkeet, joiden tavoitteena on globaalisti merkittävien läpimurtoinnovaatioiden synnyttäminen suomalaisilla vahvuusaloilla luomalla siltaa tutkimuksesta yritystoimintaan. [4]

### 3.3 Horisontti 2020

Euroopan komissio on asettanut Horisontti 2020 -ohjelman tavoitteeksi luoda Eurooppaan kasvua ja uusia työpaikkoja, turvata Euroopan asema globaalissa kilpailussa ja vastata Eurooppa 2020 -strategiassa nostettuihin haasteisiin. Ohjelma kattaa vuodet 2014–2020. Horisontti 2020 rakentuu kolmesta osasta eli ”pilarista”, joita ovat huippu-tason tiede, teollisuuden johtoasema, yhteiskunnalliset haasteet. [7]

Kansainväliseen kasvuyrittäjyyteen sekä huomispäivän teknologioihin ja innovaatioihin pyritään kolmella tavoitteella:

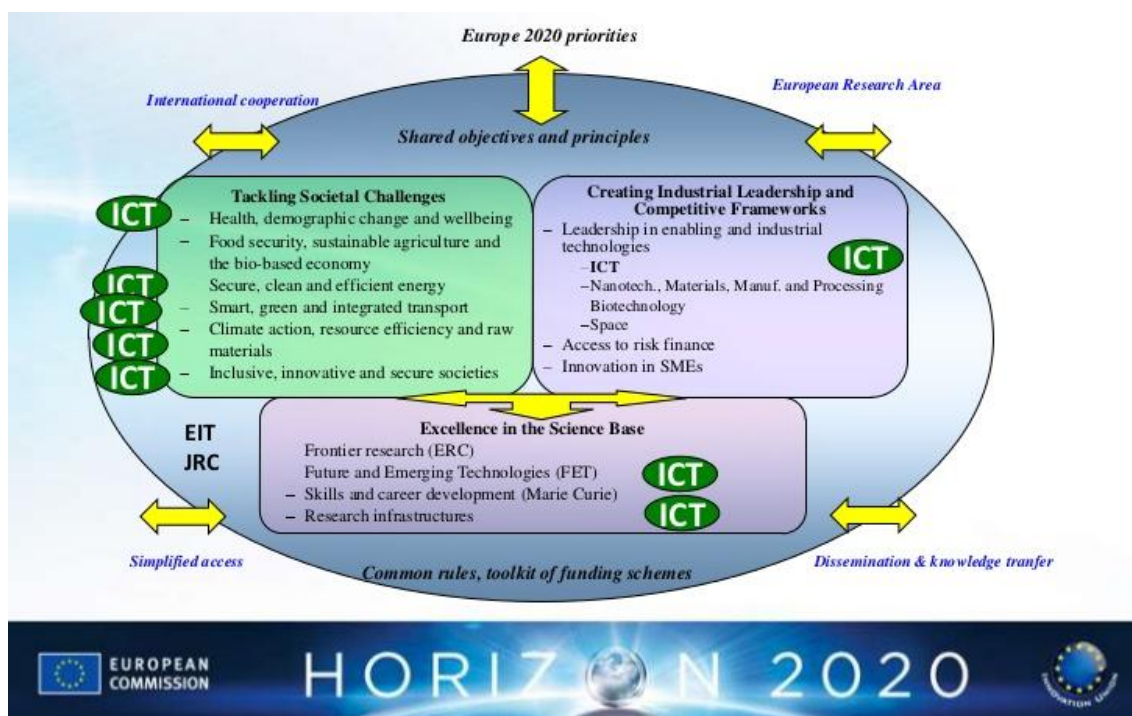
1. Johtoasema mahdollistavissa teknologioissa ja teollisuusteknologioissa
2. Riskirahoituksen saatavuus
3. Innovointi pk-yrityksissä

Johtoasema mahdollistavissa teknologioissa ja teollisuusteknologioissa saavutetaan vain, kun Euroopan teollisuus pystyy onnistuneesti omaksumaan ja ottamaan käyttöön mahdollistavia avainteknologioita (Key Enabling Technologies, KETs), jotta Euroopan tuottavuus ja innovointikyky vahvistuisivat. Rahoitus tullaan kohdistamaan seuraaville alueille:

1. Tieto- ja viestintäteknologia, ICT
2. Nanoteknologia
3. Kehittyneet materiaalit
4. Bioteknologia
5. Kehittynyt valmistus ja prosessointi
6. Avaruus

ITC-ala on geneerinen teknologia ja siksi se esiintyy hyvin monella Horisontti 2020 -ohjelma-alueella. Vuosien 2014–15 ohjelmissa ICT näkyy seuraavasti [7]:

- Advanced research to uncover radically new technological possibilities and ICT contributions to research and innovation are addressed in the 'Excellent science' part of the work programme, respectively under Future and Emerging Technologies (FET), European research infrastructures (EINFRA);
- Research and innovation activities on generic technologies either driven by industrial roadmaps or through a bottom up approach are addressed in the Leadership in enabling and industrial technologies (LEIT) part of the work programme, under 'Information and communication technologies';
- Multi-disciplinary application-driven research and innovation leveraging ICT to tackle societal challenges are addressed in the different Societal challenges.



KUVIO 3 ICT ja Horisontti2020 -ohjelma

### 3.4 Euroopan tutkimusneuvosto

Euroopan komissio perusti Euroopan tutkimusneuvoston (European Research Council, ERC) helmikuussa 2007 osana EU:n seitsemättä tutkimuspuiteohjelmaa. ERC:n tehtävänä on päättää tieteen eturintamaan kuuluville tutkijalähtöisille tutkimushankkeille myönnettävästä tuesta. ERC:n toiminnan päätavoitteena on edistää eurooppalaista tieteellistä huippuosaamista suuntaamalla tukea luoville eturivin tutkijoille, tieteenharjoittajille ja insinööreille kaikilla tieteen ja teknologian aloilla.

Horisontti2020-hanke rahoittaa ERC-hankkeita seuraavien periaatteiden mukaisesti. Rahoitus on suunnattu eri vaiheessa uransa oleville tutkijoille ilman ikä- tai kansalaisuusrajoitetta. Tutkimustyö on tehtävä EU:n jäsenmaassa tai puiteohjelman liitännäismaassa (ns. Associated Country). Tutkimusaiheita ei ole määritelty etukäteen.

Horisontti2020 myöntää rahoitusta seuraavanlaisiin ERC-ohjelmiin:

ERC Starting Grants (StG) uransa alkuvaiheessa oleville tutkijoille:

Tavoitteena on tukea itsenäistyviä tutkijoita, joilla on jo vähintään 2 ja enintään 7 vuotta tutkijauraa takanaan. Yhden hankkeen rahoitus on enintään 2 miljoonaa euroa, ja se myönnetään enintään 5 vuodelle.

ERC Consolidator Grants (CoG) urallaan vakiintumassa oleville tutkijoille:

Tavoitteena on tukea ansioituneita ryhmänjohtajia, joilla on jo vähintään 7 ja enintään 12 vuotta tutkijauraa takanaan. Yhden hankkeen rahoitus on enintään 2,75 miljoonaa euroa 5 vuoden ajaksi.

ERC Advanced Grants (AdG) edistyneille tutkijoille:

Tavoitteena on tukea edistyneitä tutkijoita, joilla on merkittävää tutkijauraa takanaan ainakin 10 viime vuoden ajalta. Rahoitusta myönnetään yhdelle hankkeelle enintään 3,5 miljoonaa euroa 5 vuoden ajaksi.

ERC Proof of Concept (PoC):

ERC-rahoituksen saaneiden on mahdollista hakea erillistä rahoitusta tutkimuksensa kaupallisen ja sosiaalisen innovaatiopotentialin hyödyntämiseen. PoC-rahoitus voi olla maksimissaan 150 000 euroa.

## 4 IT JA KANSALLISET LINJAUKSET

### 4.1 Suomen digitaalinen agenda 2011

Valtioneuvoston selonteon Tuottava ja uudistuva Suomi – Digitaalinen agenda vuosille 2011–2020 mukaan ”Tietoyhteiskuntakehityksellä ja digitalisoinnilla on merkittävä rooli koko Suomen hyvinvoinnin ylläpitämisessä ja tuottavuuden parantamisessa. Tieto- ja viestintäteknologioiden tehokkaalla hyödyntämisellä yhteiskunnan kaikilla sektoreilla voidaan edesauttaa huomattavasti talouden kasvua. Tieto- ja viestintäteknikan laajamittaisella levittämisellä luodaan palveluiden tuotantoa ja vientiä korvaamaan perinteisen tuotannon siirtymistä muualle. Digitalisoimisen mahdollistama tuottavuuden kasvu vaikuttaa suotuisasti myös julkisen sektorin kestävyysvajeeseen.” [25]

”Digitaaliset palvelut ovat siirtymässä yhä enenevässä määrin ns. pilvipalveluihin. Näissä suuret palvelinkeskittymät, tehokas tietoliikenne ja laaja maantieteellinen hajautus takaavat edullisimman tuotannon ja samalla myös suojan häiriötä vastaan. Samalla kuitenkin syntyy voimakas tarve määritellä kansallisen tietoyhteiskunnan toimivuuden kannalta tärkeät palvelut ja kriittinen infrastruktuuri.” [25]

### 4.2 Suomen kyberturvallisuusstrategia 2013

Kyberturvallisuusstrategian [28] mukaan ”Kybertoimintaympäristö tulee nähdä myös mahdollisuutena ja voimavarana. Turvallinen kybertoimintaympäristö helpottaa yksilöiden ja yritysten oman toiminnan suunnittelua, mikä lisää taloudellista aktiviteettia. Hyvä toimintaympäristö parantaa myös Suomen kansainvälistä houkuttelevuutta investointikohteena. Näiden lisäksi kyberturvallisuus on itsessään uusi ja vahvistuva liiketoiminnan alue.”

Suomella on pienenä, osaavana ja yhteistyökykyisenä maana erinomaiset edellytykset nousta kyberturvallisuuden kärkimaaksi. Meillä on vahva osaamisperusta sekä pitkät perinteet tiivistä ja luottamuksellisesta yksityisen ja julkisen sektorin yhteistyöstä sekä hallinnon alojen välisestä yhteistyöstä. [26, 28]





KUVIO 4 Suomen kyberturvallisuusstrategian visio [28]

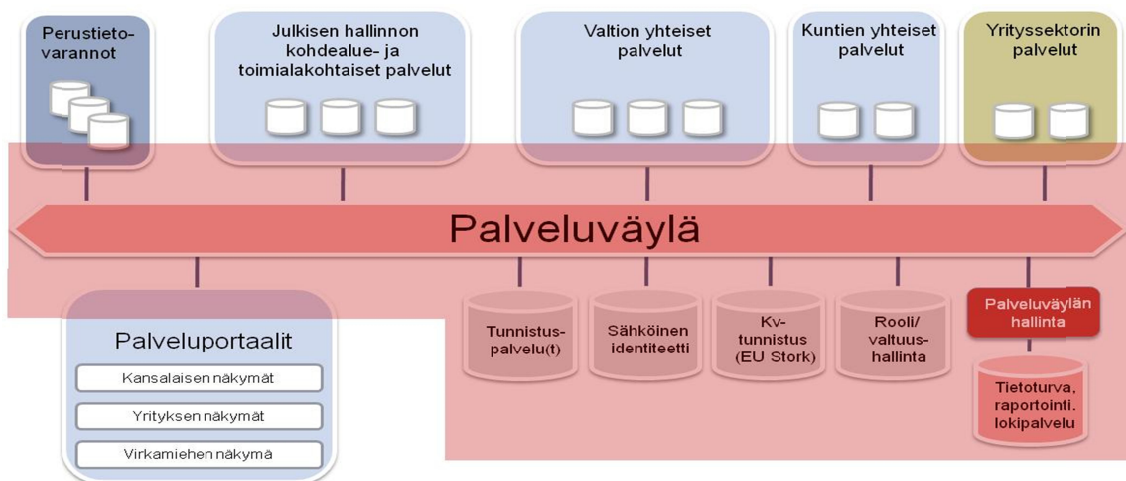
## 4.3 Valtionhallinnon ICT:n kehittäminen

### 4.3.1 Kansallinen palveluväylä

Kansallinen palveluväylä on tiedonvälityskonsepti, jossa eri toimintaympäristöjen palveluiden tarvitsema tieto on saatavilla avoimien rajapintojen yli kaikille tietoa tarvitseville palveluille. Palveluväylä on yhtenäinen tapa välittää tietoja. Tavoitteena on, että tieto on laajasti ja helposti kansalaisten käytettävissä, yritysten hyödynnettävissä nykyisen ja uuden liiketoiminnan vahvistamiseksi sekä myös julkisessa hallinnossa entistä paremmin käytettävissä. Tieto on saatavilla standardoitujen avoimien rajapintojen yli kaikille tietoa tarvitseville. Sama tieto tallennetaan vain kerran ja tieto haetaan ao. tietovarannosta – ajantasaiset tiedot käytössä. [10, 29]

Kansallinen palveluväylä on tiedonvälityskokonaisuus, jossa sen määrittämät ja määrittämät rajapinnat sekä väylään oleellisesti kuuluvat infrastruktuuri- ja yleispalvelut mahdollistavat uusien tietolähteiden avaamisen palvelujen käytettäväksi yhdenmukai-

silla tavoilla sekä uusien palvelujen helpomman luonnin mahdollistamalla eri tietolähteille yhteneväiset rajapinnat. [29]



KUVIO 5 Palveluväylä on tiedonvälityskonsepti [10]

#### 4.3.2 SAdE-hanke

Sähköisen asioinnin ja demokratian vauhdittamisohjelma (SAdE-ohjelma) tuottaa kansalaisten, yritysten ja viranomaisten käyttöön asiakaslähtöisiä ja yhteen toimivia sähköisiä palvelukokonaisuuksia, jotka vahvistavat julkisen sektorin kustannustehokkuutta ja laatua. [20, 21, 22]

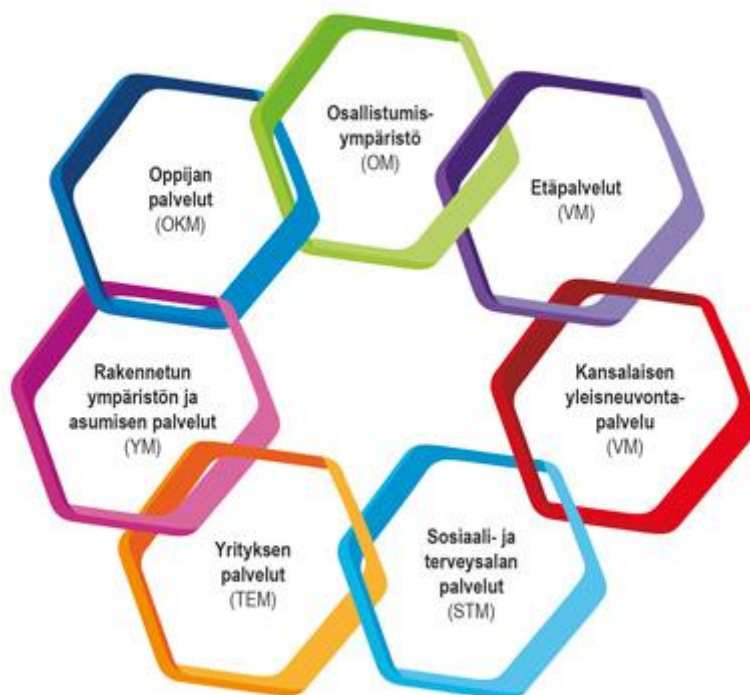
SAdE-ohjelma kuuluu hallituksen kärkihankkeisiin. Se kytkeytyy merkittäviin valtion- ja kunnallishallinnon kehittämistoimiin, kuten vaikuttavuus- ja tuloksellisuusohjelmaan, kuntien tuottavuus- ja tuloksellisuusohjelmaan, asiakkuusstrategiahankkeeseen ja julkisen asiakaspalvelun kehittämishankkeeseen. [20, 21, 22]

SAdE-ohjelman hankkeet:

- [Osallistumisympäristö](#)
- [Oppijan verkkopalvelut](#)
- [Rakennettu ympäristö ja asuminen](#)
- [Yrityksen palvelukokonaisuus](#)
- [Sosiaali- ja terveysalan palvelukokonaisuus](#)

Erillishankkeina osana ohjelmaa toteutetaan:

- [Kansalaisten yleisneuvontapalvelu](#)
- [Etäpalvelu](#)



KUVIO 6 SAdE-ohjelman hankkeet [22]

#### 4.3.3 Pilviväylähanke

Opetus- ja kulttuuriministeriön johdolla toteutettavan Pilviväylä-projektin tavoitteena on helpottaa pilvipalveluiden syntymistä, hankintaa ja käyttöönottoa oppimisympäristöissä. Tarkoituksena on uudistaa ja monipuolistaa oppimisen ja opettamisen tapoja sekä antaa opettajille paremmat ja monipuolisemmat työvälineet opetukseen. Visiona on luoda avoin väylä oppimista tukeville palveluille ja materiaaleille, joita voivat tuottaa esimerkiksi yritykset, yhdistykset, opettajat ja oppilaat. Pilviväylän kautta materiaalit ja palvelut olisivat helposti käyttöönotettavissa opetuksessa ja niitä olisi mahdollista kehittää yhdessä. Aineistoja käytetään hajautettuna verkkopalveluna Internetin kautta. Oppimisympäristöjen pilviväylä, koulutuspilvi, tukee digitaalisten oppimateriaalien kehitystä ja siihen liittyvien uusien toimintamallien kehittämistä. [18]

Pilviväylän rakentaminen etenee vuonna 2014 pilottiprojektina, jossa koulutukseen liittyviä, pilviteknologiaan pohjautuvia palveluita otetaan käyttöön verkko-oppimisympäristössä. Yhteistyössä tehtävän kehitystyön tulokset tullaan julkaisemaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa avoimena lähdekoodina. Avoimien rajapintojen avulla eri palveluita voidaan integroida uudennlaisiksi palveluiksi ja kehittää uusia palveluita ennalta kehitetyn päälle. Opetus- ja kulttuuriministeriön johdolla toteutettava koulutuksen pilviväylä tulee toimimaan pilottina myös kehitettäessä kansallista palveluväylää. [18]

## 5 IT-ALALLE KANSAINVÄLISET LUOKITTELUT

IT-alan koulutuksessa ja tutkimusrahoituksessa käytettävä terminologia ei ole vakiintunut. Selkeintä olisi käyttää yleisnimikkeenä informaatioteknologiaa tai tietotekniikkaa. Tietojenkäsittelytieteet yläkäsitteenä ei toimi.

IT-alan tutkimushankkeiden luokittelussa tulisi käyttää maailmanlaajuisesti käytössä olevaa AMS:n (American Mathematical Society) Mathematical Reviews ja ACM (American Computer Machinery) luokitusta.

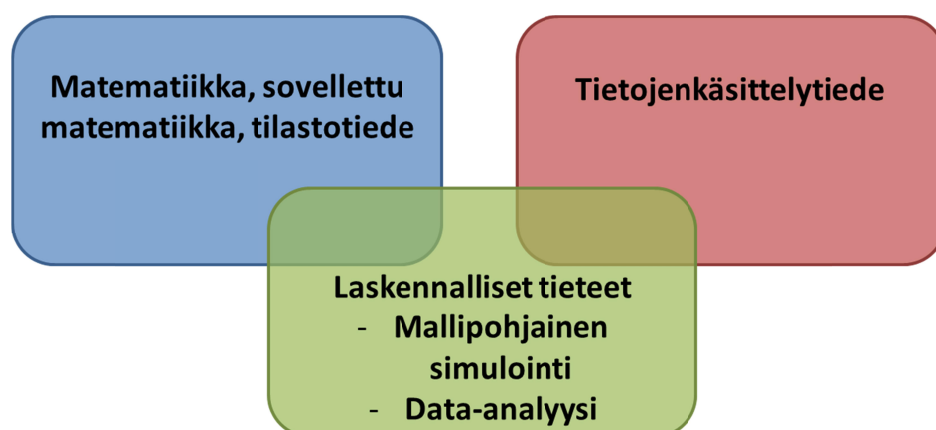
Luokituksen käytössä olisi se etu, että nähtäisiin kattaako suomalainen tutkimus alan keskeiset alueet. Lisäksi kun tutkijat luokittelevat tutkimushankkeet, arviointimenettely on helppo tehdä. Lähtökohtana täytyy olla että arviointityön tekee tutkimusalan hallitseva arvioitsija.

## 6 SUOMEN AKATEMIAN JA TEKESIN IT-ALALLE MYÖNTÄMÄ RAHOITUS 2009–2013

EU:n Digitaalistrategian [2] mukaan ICT:hen liittyvään tutkimukseen ja kehittämiseen tehtävät investoinnit jäävät Euroopassa edelleen vajaiksi. Euroopan tärkeimpiin kaupakumppaneihin, kuten Yhdysvaltoihin, verrattuna ICT:n osuus T&K:hon käytetyistä kokonaismenoista on paljon pienempi (17 %, Yhdysvalloissa 29 %). Myös absoluuttisina lukuina tarkastellen kyseiset menot ovat vain noin 40 % Yhdysvaltojen vastaavista menoista.

### 6.1 Suomen Akatemian myöntämä rahoitus

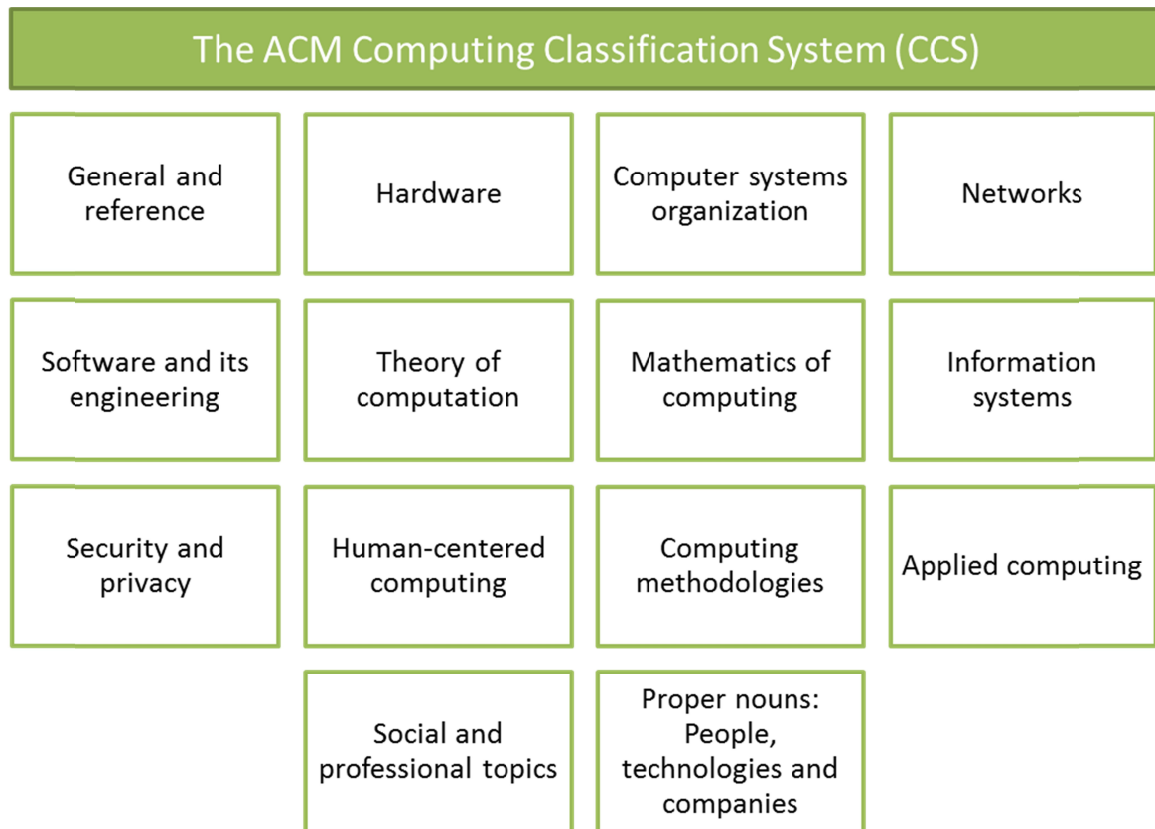
Suomen Akatemian matematiikan, tilastotieteen ja IT-alan luokituksessa tulisi käyttää AMS:n (American Mathematical Society) Mathematical Reviews ja ACM:n (American Computer Machinery) luokituksia. Tällöin tutkimushankkeelle olisi helpompi määritellä alan tunteva asiantuntija. Samalla nähtäisiin miten hyvin Suomen Akatemian rahoitus kattaa ko. alojen kokonaisuuden. Nyt alat menevät päällekkäin ja ylitason nimitys (TKT) on myös alanimikkeenä. Myös tilastotiede ja laskennallinen data-analyysi pitäisi olla samassa ryhmässä. Lisäksi laskennallinen tiede puuttuu kokonaan. Liitteessä 1 AMS:n Mathematical Reviews ja ACM:n (American Computer Machinery) luokitukset.



KUVIO 7 Luokittelu

AMS:n luokittelun mukaan kuvion 7 aloihin liittyvät seuraavat alat: 62-XX Statistics, 65-XX Numerical analysis, 68-XX Computer science, 90-XX Operations research, mathe-

tical programming, 91-XX Game theory, economics, social and behavioral sciences, 93-XX Systems theory; control, ja 94-XX Information and communication, circuits.



KUVIO 8 ACM:n luokittelu

Taulukosta 1 ilmenee Suomen Akatemian vuosina 2009–2013 myöntämä rahoitus IT-alalle. Tutkimusalaluokituksessa on käytetty hakemuksissa ilmoitettua ensisijaista tutkimusalaa. Yleisimmin täksi on ilmoitettu ns. pääluokkaa, kuten 1150: Sähkötekniikka ja elektroniikka tai 1170: Tietojenkäsittelytieteet. Ensisijaiseksi tutkimusalaksi on myös saatettu ilmoittaa näiden alaluokka, esim. 1171: Laskennallinen data-analyysi.

TAULUKKO 1 Suomen Akatemian myöntämä rahoitus vuosina 2009-2013

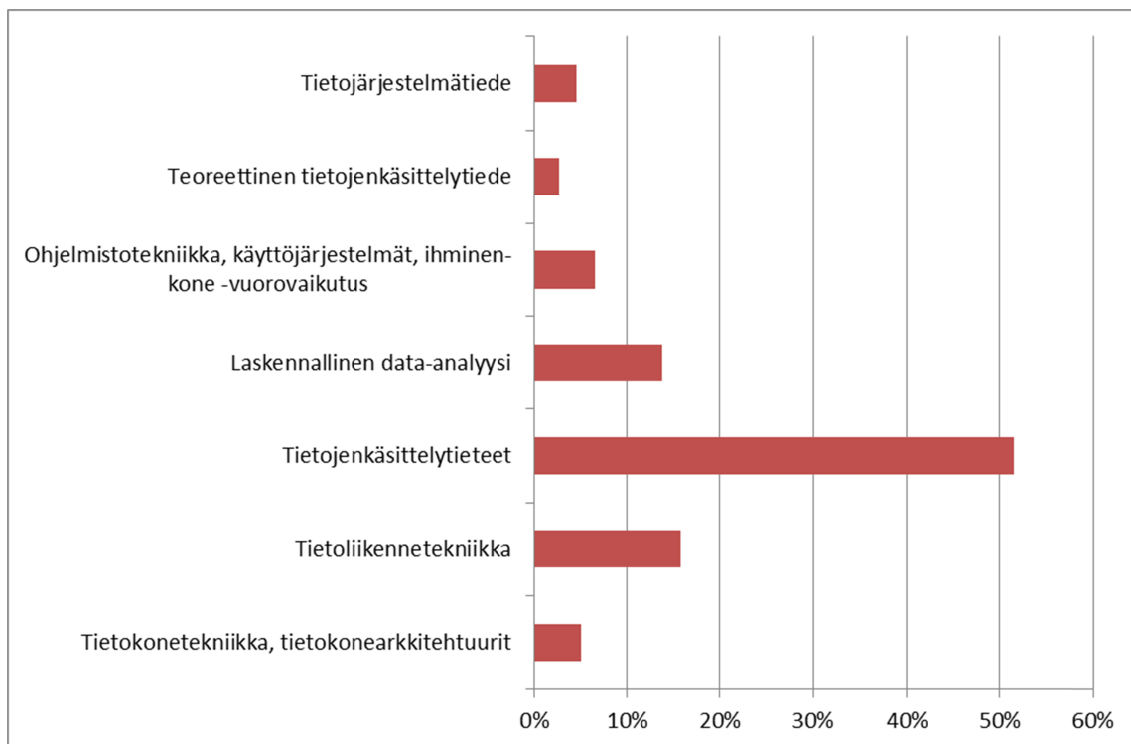
KDI	TUTKIMUSALA	AALTO	HY	JY	LTY	OY	TAY	TTY	TY	UEF	VY	ÄÄ	Yhteensä
1150	Sähkötekniikka ja elektroniikka	13 655 887	268 151	927 586	2 655 663	5 341 047		6 667 743	2 462 691	346 112			32 324 880
1151	Automaatio- ja systeemitekniikka	549 603			635 000			988 118					2 172 721
1152	Elektroniikka	1 941 027				1 281 537		155 184					3 377 748
1153	Signaalinkäsittely	2 586 579				752 877		3 398 503					6 737 959
1154	Sähkötekniikka	1 216 620	203 852		521 924								1 942 396
1155	Tietokonetekniikka, tietokone-arkkitehtuurit					600 000		800 472	959 610			1 017 406	3 377 488
1156	Tietoliikenteekniikka	2 263 414	388 331			4 582 242		3 240 095			54 356		10 528 438
1170	Tietojenkäsittelytieteet	11 360 944	6 170 152	1 105 779	216 900	3 302 836	1 170 013	3 693 411	1 529 308	2 776 373		3 034 689	34 360 405
1171	Laskennallinen data-analyysi	5 893 986	739 778	46 859	23 233	2 306 561		188 619					9 199 036
1172	Ohjelmistotekniikka, käyttöjärjestelmät, ihminen-kone-vuorovaikutus	1 056 960			475 641	590 467	1 289 931	662 000		320 266			4 395 265
1173	Teoreettinen tietojenkäsittelytiede	1 146 290	220 274									433 188	1 799 752
1174	Tietojärjestelmätieteet	1 159 583	234 220			343 626		491 792	286 500	537 967			3 053 688
	Yhteensä	42 830 893	8 224 758	2 080 224	4 528 361	19 101 193	2 459 944	20 285 937	5 238 109	3 980 718	54 356	4 485 283	113 269 776

Kun rahoituksesta poistetaan sähkötekniikka ja elektroniikka, automaatio- ja systeemitekniikka, elektroniikka, signaalinkäsittely ja sähkötekniikka saadaan taulukko 2, jossa esitetty IT-alalle myönnetty kokonaisrahoitus vuosina 2009–2013 ja kunkin osa-alueen osuus myönnetyistä varoista.

TAULUKKO 2 Suomen Akatemian myöntämä rahoitus vuosina 2009-2013

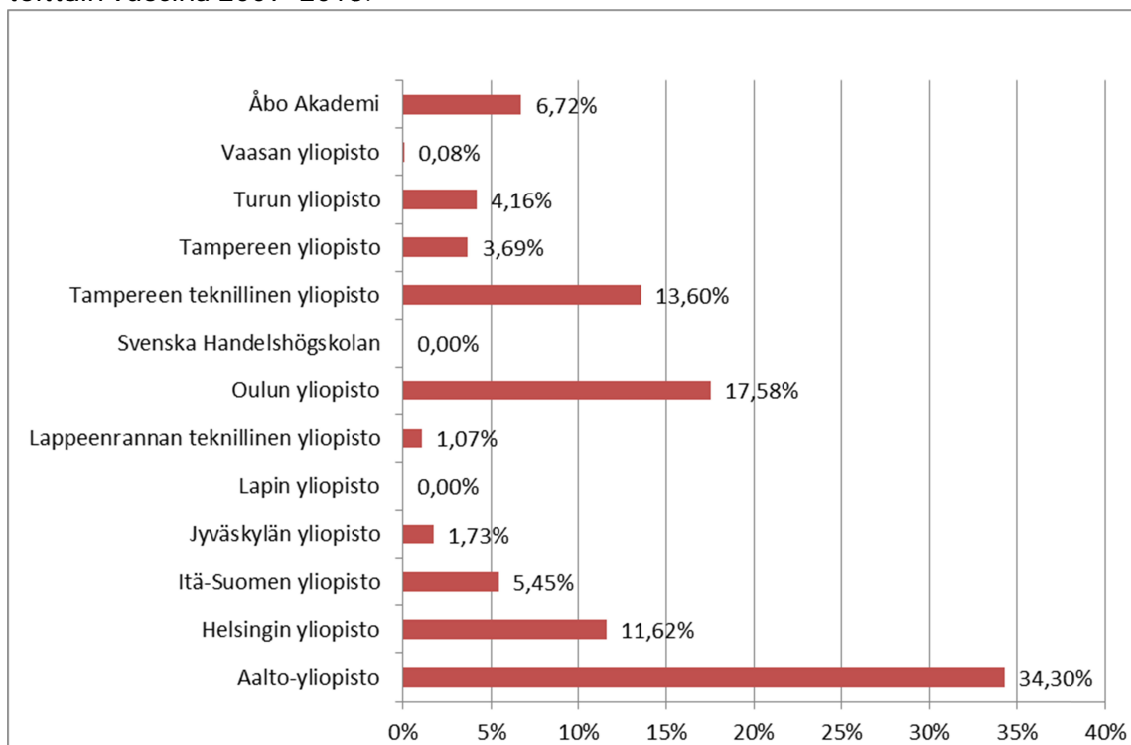
Tutkimusalan ala	Myönnetty varoja (M€)	Osuus (%)
Tietokonetekniikka ja tietokonearkkitehtuurit	3,4	5,1
Tietoliikenne	10,5	15,7
Tietojenkäsittelytieteet	34,4	51,5
Laskennallinen data-analyysi	9,2	13,8
Ohjelmistotekniikka, käyttöjärjestelmät, ihminen-kone -vuorovaikutus	4,4	6,6
Teoreettinen tietojenkäsittely	1,8	2,7
Tietojärjestelmätieteet	3,1	4,6
Yhteensä	66,8	100

Kuviossa 9 on esitetty Suomen Akatemian IT-alan rahoitus tieteenaloittain vuosina 2009–2013.



KUVIO 9 Suomen Akatemian IT-alan rahoitus tieteenaloittain vuosina 2009–2013

Kuviossa 10 on esitetty Suomen Akatemian IT-alan rahoituksen jakautuminen yliopistoittain vuosina 2009–2013.

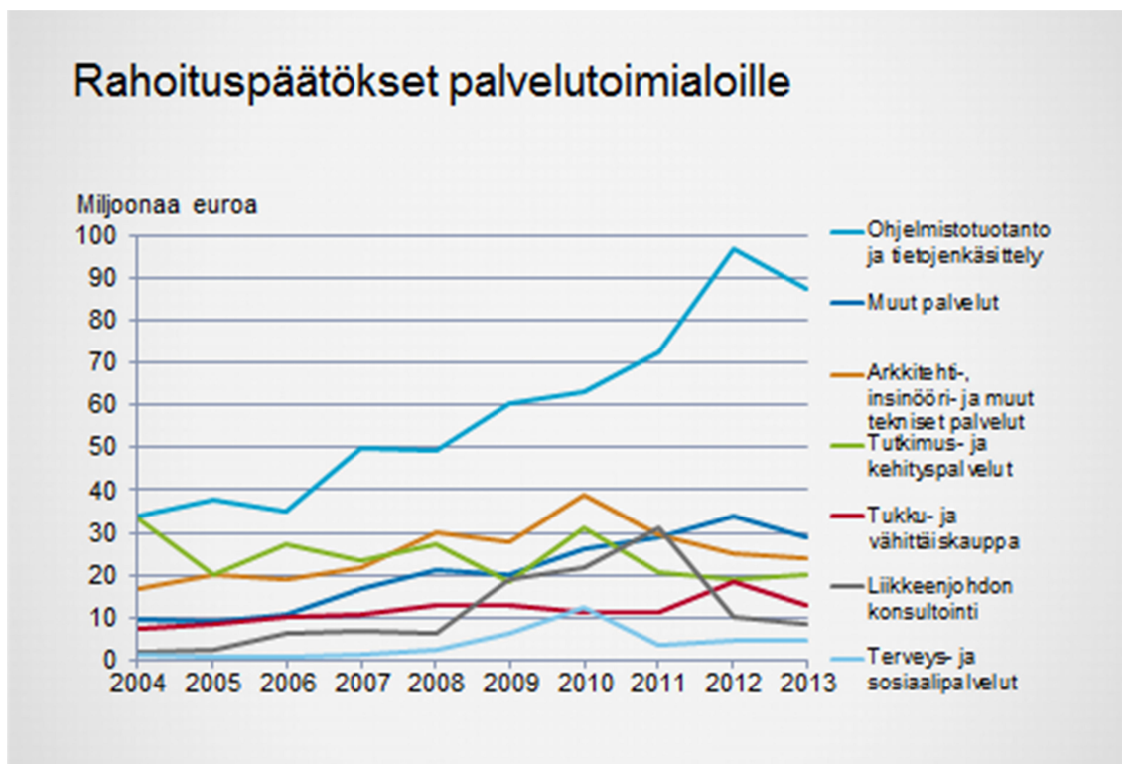


KUVIO 10 Suomen Akatemian IT-alan rahoitus yliopistoittain vuosina 2009–2013



## 6.2 Tekesin myöntämä rahoitus

Kuviossa 11 on esitetty Tekesin myöntämän rahoitus palvelutoimialoille vuosina 2004–2013.

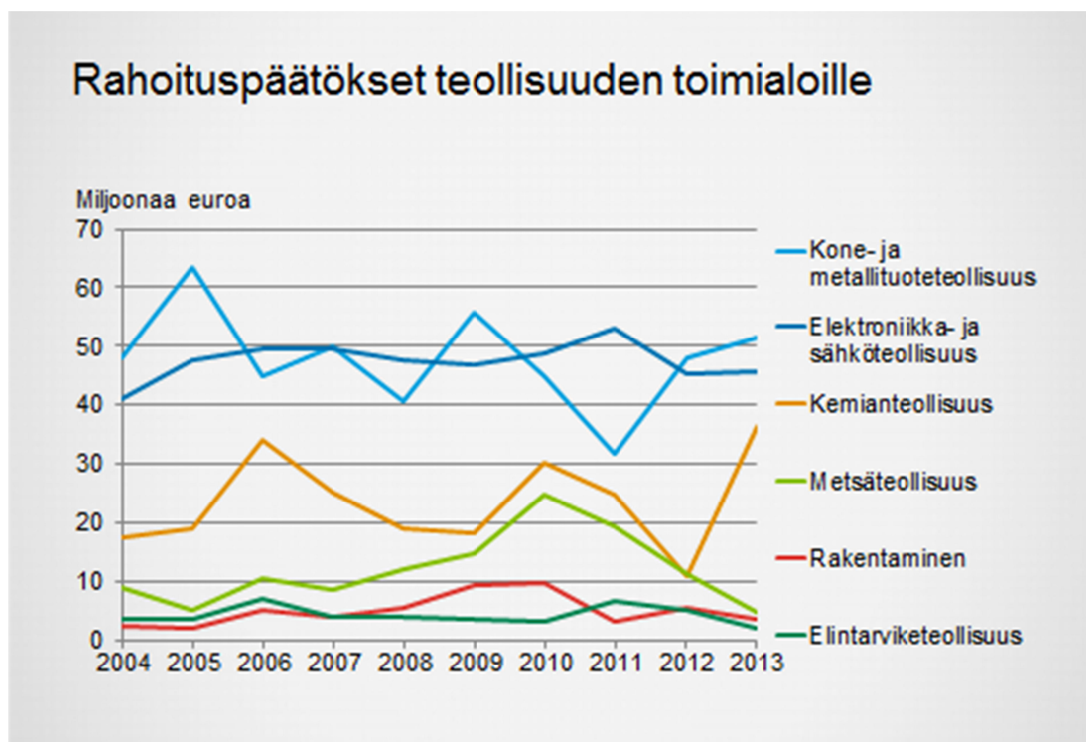


**Tekes**

OM 1225377 01-2014

KUVIO 11 Tekesin rahoituspäätökset palvelutoimialoille

Kuviossa 12 on esitetty Tekesin myöntämän rahoitus teollisuuden toimialoille vuosina 2004–2013.

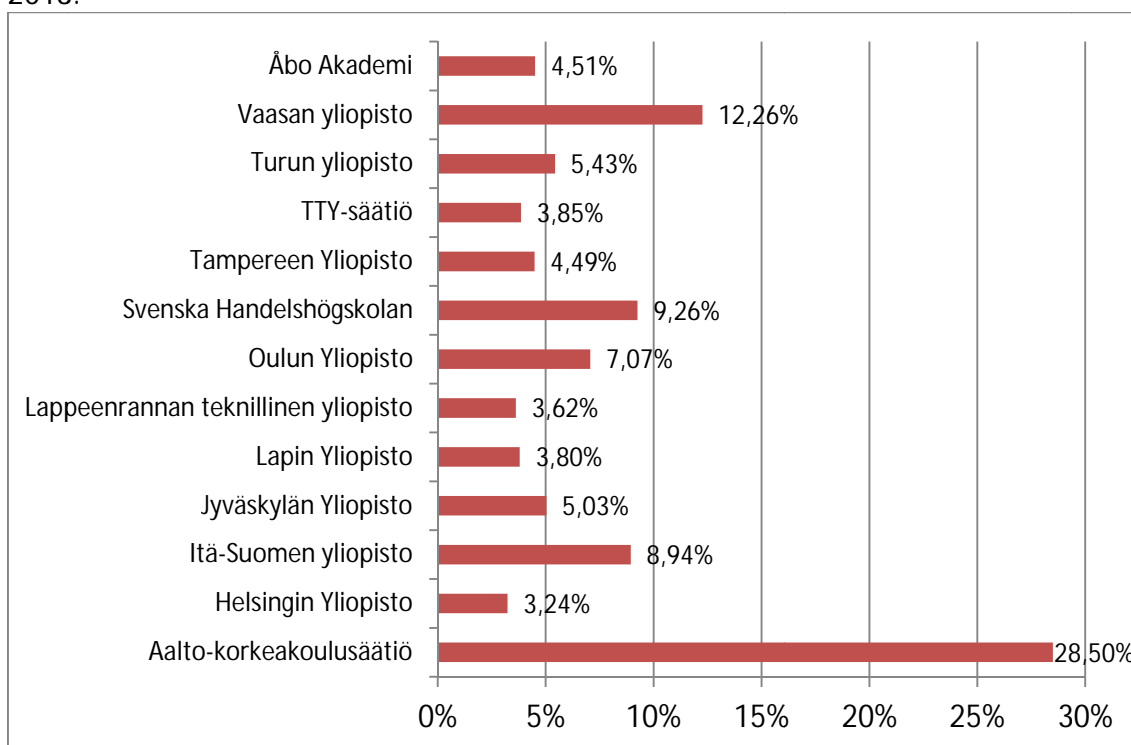


Tekes

OM 1225377 01-2014

KUVIO 12 Tekesin rahoituspäätökset teollisuuden toimialoille

Kuviossa 13 on esitetty Tekesin myöntämän rahoitus yliopistoittain vuosina 2010–2013.



KUVIO 13 Tekesin rahoitus yliopistoittain vuosina 2010–2013

### 6.3 Tutkijakoulujen rahoitus

Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto ICT-alalla toimivien OKM:n rahoittamien tutkijakoulujen (nykyisin tohtorihjelma) tuloksellisuudesta vuosina 2002–2011. Siinä on laskettu tällä aikavälillä eri tutkijakouluista valmistuneiden tohtorintutkintojen suhde ministeriön myöntämien tutkijakoulupaikkojen määrään. Taulukosta ilmenee eri tutkijakouluissa tehdyt väitöskirjat sekä käytössä olleet tutkijankoulutuspaikat eli resurssit. Lisäksi on laskettu tuloksellisuusindeksi: tulokset suhteutettuna resursseihin.

Taulukosta nähdään, että selvästi tuloksellisimpia tutkijakouluja suhteessa resursseihin ovat olleet Jyväskylän yliopistossa toimiva COMAS ja Itä-Suomen yliopistojen yhteinen ECSE-tutkijakoulu.

TAULUKKO 3 Tutkijakoulujen toiminnan tuloksellisuus vuosina 2002-2011

Tutkijakoulu	OKM*	Tutkinnot										Yht.	T/P
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
Jyväskylä Graduate School in Computing and Mathematical Sciences (COMAS)	10	13	9	14	12	11	14	13	8	19	16	129	1,29
East Finland Graduate School in Computer Science and Engineering (ECSE)	5	4	4	5	6	5	15	3	10	5	13	70	1,40
Helsinki Graduate School in Computer Science and Engineering (Hecse)	20	5	14	10	11	15	9	11	16	9	10	110	0,55
Infotech Oulu Graduate School	25	11	15	21	12	23	14	22	18	17	24	177	0,71
Turku Center for Computer Science Graduate School (TUCS)	25	7	6	12	14	10	13	16	15	8	12	113	0,45
Graduate School in Electronics, Telecommunications, and Automation (GETA)	67	15	19	18	13	26	12	20	14	17	18	172	0,26
Tampere Graduate School in Information Science and Engineering (TISE)	32	12	9	17	15	16	18	15	14	11	?	127	0,44

\* OKM:n rahoittamien paikkojen määrä on vaihdellut eri toimikausina. Tässä on ilmoitettu paikkojen määrä 2010–2011.

#### Selitteet:

Tutkijakoulu	Tutkijakoulun nimi
OKM	Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamat tutkijakoulupaikat
Tutkinnot	Tutkijakoulun ilmoittama tutkintojen määrä kyseisenä vuonna
Yht.	Tutkintojen määrä yhteensä
T/P	Suhdeluku: tutkintoja tutkijakoulupaikkoa kohti vuodessa
Lähteet	COMAS, ECSE, TISE: koordinaattorilta saatu tieto

Taulukossa 4 on esitetty tohtorin tutkintojen määrän kehitys 4-vuotiskausina Informaatioteknologian tiedekunnan perustamisesta (1998) alkaen. Taulukossa on tarkasteltu erikseen tutkintomäärää Informaatioteknologian tiedekunnassa, Jyväskylän yli-

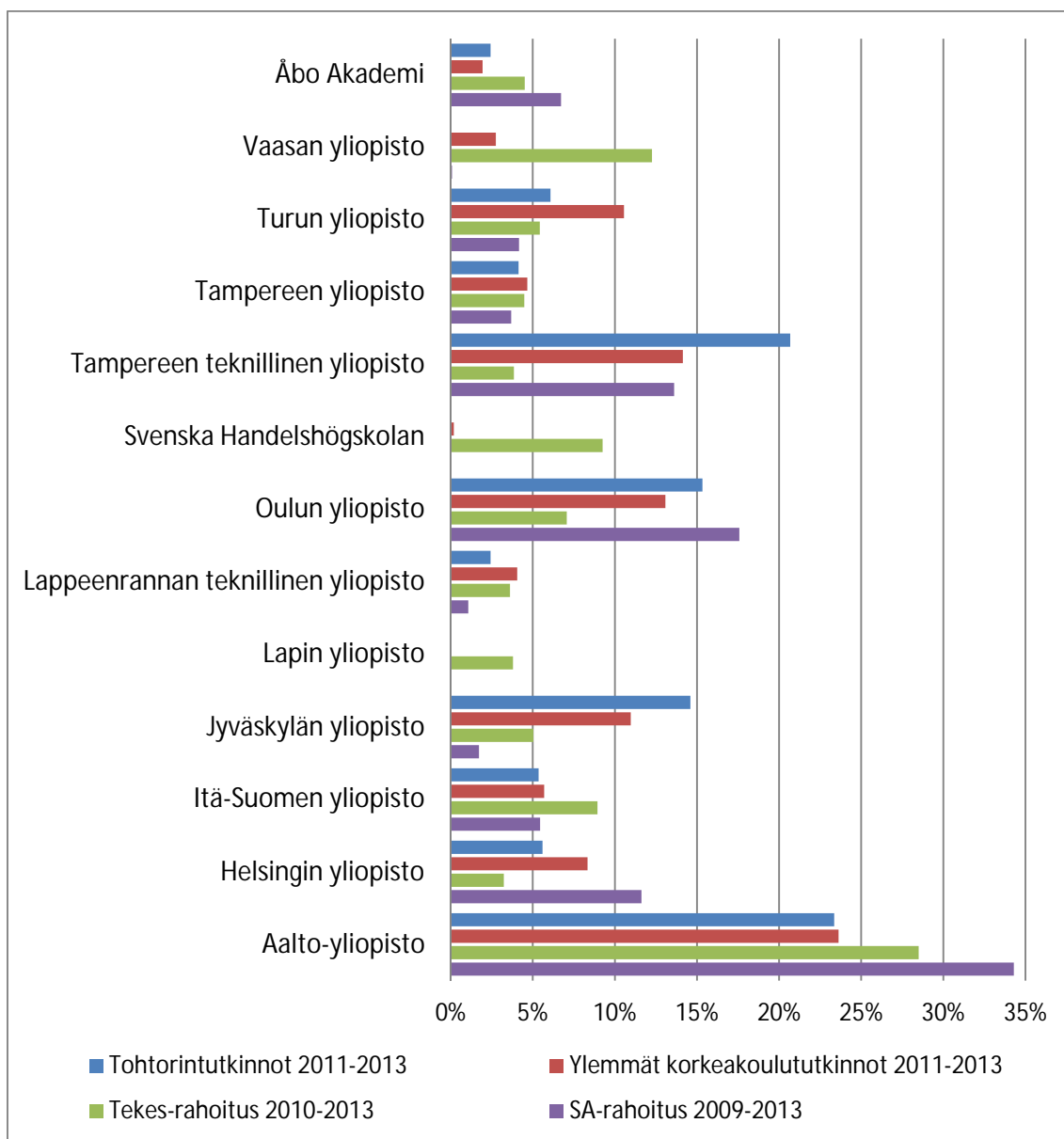
opistossa ja koko Suomessa. Taulukosta nähdään, että tohtorintutkintojen määrä on yleisesti kasvanut tarkasteluvälillä, mutta Informaatioteknologian tiedekunnassa kasvu on ollut huomattavasti nopeampaa kuin Jyväskylän yliopistossa tai koko Suomessa.

TAULUKKO 4 Tohtorin tutkintojen kehitys Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnassa vuodesta 1998

Tohtorin tutkin- toa / vuosi	JY	ITK	ITK/JY	Suomi	JY/Suomi	ITK/Suomi
1998–2001	84,25	4,75	5,6 %	1128,75	7,5 %	0,42 %
2002–2005	106,25	11,25	10,6 %	1325,5	8,0 %	0,85 %
2006–2009	122,75	12	9,8 %	1526	8,0 %	0,80 %
2010–2013	157,5	20	12,7 %	1636	9,6 %	1,22 %

#### 6.4 Rahoituksen suhde tuloksiin

Kuviossa 14 on esitetty yliopistojen osuus myönnetystä Suomen Akatemian rahoituksesta vuosina 2009–2013, myönnetystä Tekes-rahoituksesta vuosina 2010–2013, IT-alan henkilöstöstä vuonna 2012, sekä suoritetuista IT-alan ylemmistä korkeakoulu- ja tohtorintutkinnoista vuonna 2012.



KUVIO 14 Täydentävä rahoitus/tutkinnot

## 7 KANSALLISEN TUTKIMUKSEN KANSALLINEN JA ALUEELLI- NEN EKOSYSTEEMI

ICT 2015 -työryhmän [27] mukaan "kansainvälisten yritysten Suomen johtajien kommentit kertovat, että Suomeen pitäisi syntyä riittävän merkittäviä osaamiskeskittymiä, joita pitäisi myös markkinoida maailmalla. Vahvan ekosysteemin tai osaamisverkoston luominen edellyttää monia elementtejä: tutkimus- ja kehitysresursseja, monialaista osaamista, kykyä ottaa riskiä, sekä yksityistä että julkista kysyntää innovatiivisille uusille tuotteille ja palveluille."

Kansallisessa tutkimusrahoituksessa tulisi olla sekä kansallisia että alueellisia kokonaisuuksia. Tutkimusrahoituksen hakemiseen menee tutkijoilta kohtuuttomasti aikaa ja tutkimushankkeet ovat pirstaloituneet.

Yritysten ongelmat ovat moniteknologisia ja -tieteisiä. Suomen Akatemian tutkimushankkeet voivat olla tutkimusryhmän ympärille rakennettu ja kansalliset ohjelmat vertikaalisia, joiden tavoitteena ovat teknologiset tai tieteelliset läpimurrot.

Yritysten näkökulman on horisontaalinen. Globaaleille suuryrityksille kansallinen ekosysteemi on hyvä. Suomen innovaatiotoiminasta ja työllistämisestä yhä suurempi osa tapahtuu kuitenkin pk-yrityksissä. Näille alueellinen ekosysteemi on keskeinen uuden tiedon välittäjänä ja sen jalostajana toimii alueellinen yliopisto.

## 8 INKA-KYBERTURVALLISUUSTEEMA

Esimerkkinä ekosysteemin rakentamisesta on INKA-kyberturvallisuusteema 2014–2020. Työ- ja elinkeinoministeriö valitsi kesällä 2013 viisi teemaa innovatiiviset kaupungit 2014–2020 eli INKA-ohjelmaan. Jyväskylä valittiin koordinoimaan kyberturvallisuusteemaa. Elinkeinoministeri Jan Vapaavuoren mukaan ”valinnoissa on haluttu painottaa sellaisia teemoja, joissa voimme kehittää suomalaista osaamista entisestään sekä hakea kaupunkiseuduilta uutta vauhtia talouskasvulle. Nyt valitut vetovastuulliset kaupungit osoittautuivat sekä hakemuksissa että haastatteluissa sellaisiksi, että ne pystyvät luomaan ohjelmiin konkreettisia ja innovatiivisia hankkeita.”

INKA kyberturvallisuusteeman visiona on luoda Suomesta kansainvälisesti tunnustettu kyberturvallisuuden liiketoiminnan ja osaamisen sekä kyberuhkiin varautumisen maailmanlaajuinen edelläkävijä. Tavoitteessa Suomesta on vuonna 2020 muodostunut kyberturvallisuusalan liiketoiminnan yksi johtavista maista. Suomeen on luotu kyberturvallisuusalan tutkimusta, koulutusta, tuotekehitystä ja testausta mahdollistavia avoimia innovaatio- ja kehitysympäristöjä. Nämä ympäristöt muodostavat monialaisia kokonaisuuksia ja niillä on vahva yhteys käyttäjiin. Kehitysympäristöjen avulla on vahvistettu yritysten kasvuedellytyksiä ja aikaansaatu kansainvälinen verkostoituminen globaaleille markkinoille. Kehitysympäristöt ovat luoneet yrityksille yhteisen toimintaympäristön, jossa ne voivat kehittää kyberturvallisuuteen pohjautuvaa liiketoimintaa ja yrittäjyyttä.

Kehitysympäristöt tuottavat liiketoiminnan kehittämispalveluita, jotka liittyvät tuoteistukseen, markkinointiin ja kansainvälistymiseen. Ydintoimintaa on tunnistettujen kärkituotteiden ja -toimintamallien edistäminen ja jatkokehittäminen kansainvälisillä markkinoilla. Suomeen on rakennettu yksi maailman turvallisimmista informaatioinfrastruktuureista joka on saanut useita kansainvälisiä suuryrityksiä etabloitumaan Suomeen. Turvallisesta infrastruktuuriosaamisesta on tullut yksi menestystuote kansainvälisillä markkinoilla. Suomesta on tullut kyberturvallisuuden globaalien kehitystrendien kärkimaa maailmassa.

Suomen kansainvälisesti tunnustettu ja arvostettu kyberturvallisuuden innovaatiokehittämä tuottaa dynaamisia tieto-, oppimis- ja tutkimusverkostoja ja -ympäristöjä eri puolille maata. Suomalainen kyberturvallisuuden koulutusosaamisen asiantuntijaverkosto tuottaa monenlaisia asiakaslähtöisiä koulutus- ja kehittämispalveluja kansallisille ja kansainvälisille markkinoille. Suomeen on luotu laaja kansallinen ja kansainvälinen yhteistyöverkosto, jonka avulla täällä järjestetään alan kansainvälisten huippuosaajien vierailuja, seminaareja ja tieteellisiä konferensseja ja on saatu aikaan kiinteä yhteistoiminta tutkija- ja opiskelijavaihtoineen tärkeimpiin alan kansainvälisiin yliopistoihin ja

korkeakouluihin. Se kytkee Suomen alan parhaaseen osaamisen maailmalla, ja hankittu osaaminen on ankkuroitu Suomeen.

Kyberturvallisuudesta on vuonna 2020 tullut Suomelle uusi vientisektori huipputuotteen ja palveluineen, mikä vahvistaa liiketoimintaa kansallisesti ja kansainvälisesti. Kansallisen yhteistyön avulla on lisätty kansallisten osaamiskärkien profiloitumista ja vetovoimaisuutta koko Suomessa ja kansainvälisen liiketoiminnan avulla kehitetty kansallista hyvinvointia. Kyberturvallinen Suomi on maailmanlaajuisesti tunnistettava brändi.

INKA-Kyberturvallisuusteeman ja -toiminnan tavoitteena on luoda kansallinen koulutuksen, tutkimuksen ja yritystoiminnan sekä kansainvälisen toiminnan yhteistyöverkosto, jonka avulla kehitetään alan osaamista ja uutta liiketoimintaa, luodaan uusia alan yrityksiä ja saadaan ulkomaisia yrityksiä etabloitumaan Suomeen. Näin muodostetaan kansallinen kyberturvallisuuden innovaatiokeskittymä, jossa Suomeen muodostuu kansainvälisen huipputason tutkimus- ja koulutusosaamista sekä kansainvälisesti houkutteleva ja kilpailukykyinen toimintaympäristö kyberturvallisuusalan huippuosaajille ja yrityksille.

Kyberturvallisuusteema vahvistaa alan osaamista ja tutkimusta sekä käynnissä olevia ja alkavia kehittämishankkeita, joiden avulla Suomessa mahdollistetaan uusien tuote- ja palveluinnovaatioiden kehittäminen kansalaisille, yrityksille ja julkiselle sektorille. Tutkimuksella tuotetaan tutkimustulosten kaupallistamisen kannalta merkityksellistä tietoa ja osaamista. Kyberturvallisuudesta muodostuu yrityksille niiden liiketoiminnan varmistaja ja kilpailuetu. Lisäksi se on oma kasvava liiketoiminta-alansa.

Kyberturvallisuusteeman toimintasuunnitelma rakentuu kahden kiinteästi toisiinsa liittyvä osa-alueen varaan, joita ovat kyberliiketoiminta ja kyberosaaminen. Kyberosaaminen puolestaan muodostuu kahdesta osa-alueesta, joita ovat alan tutkimus ja koulutus. Kehittämisessä uudistetaan olemassa olevien toimialojen osaamisperustaa, ja samalla luodaan edellytyksiä uusien kasvu- ja liiketoiminta-alueiden syntymiselle kyberturvallisuuden alueelle.

Vaiheessa 1 (2014–2017) organisoidaan INKA–Kyberturvallisuusteeman kansallinen toiminta, luodaan kyberturvallisuuden strateginen tutkimusohjelma yhdessä eri toimijoiden kanssa ja muodostetaan kansallinen T&K-verkosto. Aloitetaan kansallisen koulutusverkoston suunnittelu ja alueellisten kompetenssien mukaisten koulutusohjelmien kehittäminen. Luodaan eri kyberturvallisuuden kehitysympäristöjen verkosto. Jatketaan sekä avataan uusia alueellisia ja alueidenvälisiä tutkimusohjelmia. Lisäksi koordinoitaan käynnissä olevia kyberturvallisuuden liiketoiminta-hankkeita ja käynnistetään uusia hankkeita.

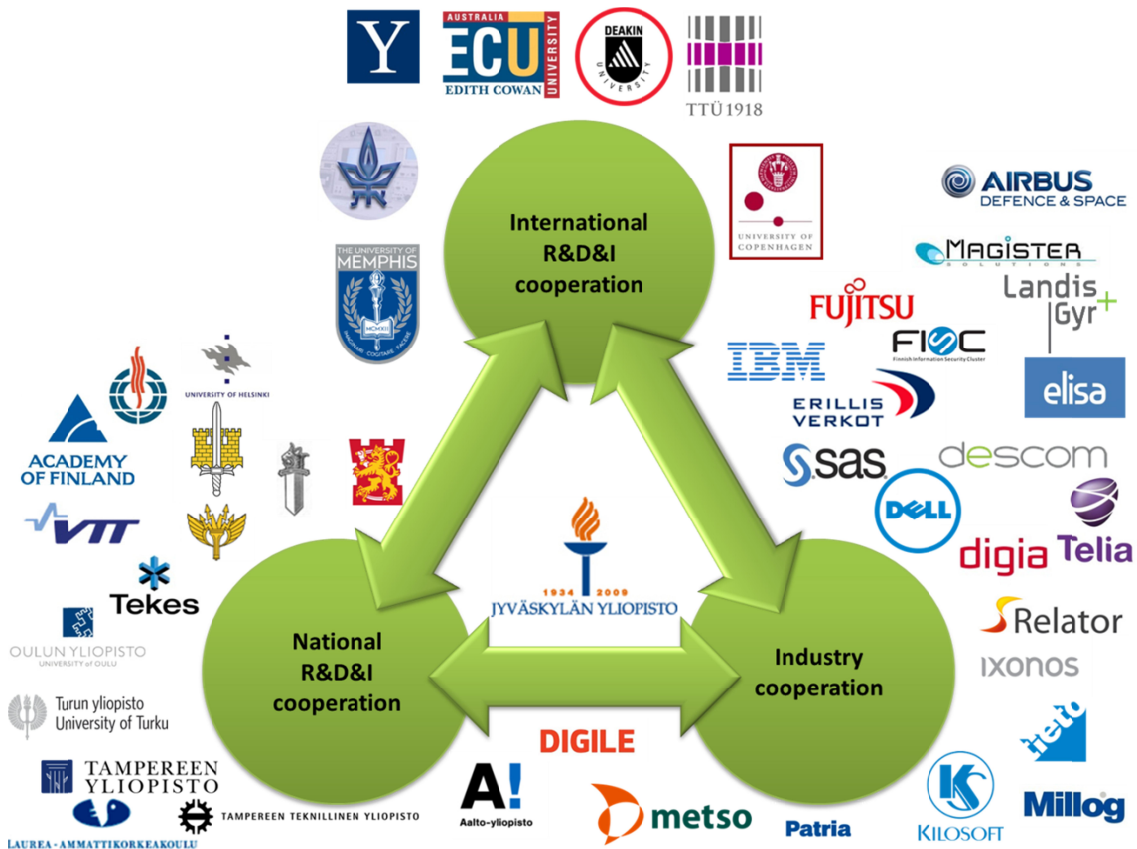
Vaiheessa 2 (2018–2020) Kehitetään kansallista kyberturvallisuuden koulutusverkostoa ja alueellisia koulutusohjelmia tarpeiden ja osaamisprofiilien mukaisesti. Jatketaan alueellisia ja monialueellisia tutkimusohjelmia. Vakiinnutetaan kyberturvallisuuden kehitysympäristöverkosto osaksi kansallista kyberturvallisuuden ekosysteemiä. Laajen-



netaan kyberturvallisuuden osaamisvientä kansainvälisille markkinoille ja implementoidaan osaamista yrityskehitykseen. Syvennetään ja laajennetaan liiketoimintahankkeita ja tehdään uusia avauksia tutkimustulosten perusteella priorisoidusti kansainvälisille markkinoille.

Toiminnan käynnistysvaiheessa laajennetaan kansallista asiantuntijaverkostoa, jonka avulla innovoidaan uusia liiketoimintamalleja ja kehitetään alan osaamista. Yhteistyöverkoston tehtävänä on määrittää mitkä tehtävät toteutetaan kansallisella tasolla ja mitkä alueellisella, tuoda esiin mahdollisuuksia testata uusia ratkaisuja muiden alueiden kehitysalustoilla, rakentaa linkkejä muihin käynnissä oleviin ohjelmiin ja hankkeisiin. Lisäksi verkoston jäsenten yhteyksiä kansainvälisiin yhteistyökumppaneihin hyödynnetään verkoston sisällä. Verkoston toiminnassa hyödynnetään osallistavien toimintamalleja, jolloin jäsenet menestyvät yhdessä, pystyvät uudistamaan toimintaansa yhdessä sekä palvelevat uuden liiketoiminnan syntymistä entistä paremmin. Toimintaa varten suunnitellaan toteutettavaksi julkaisualusta, jonne eri toimijat voivat tuottaa sisältöä muiden käytettäväksi.

Kuviossa 15 on esitetty keväteen 2014 mennessä Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnan ympärille muodostunut kyberturvallisuuden ekosysteemi ja sen tärkeimmät toimijat.



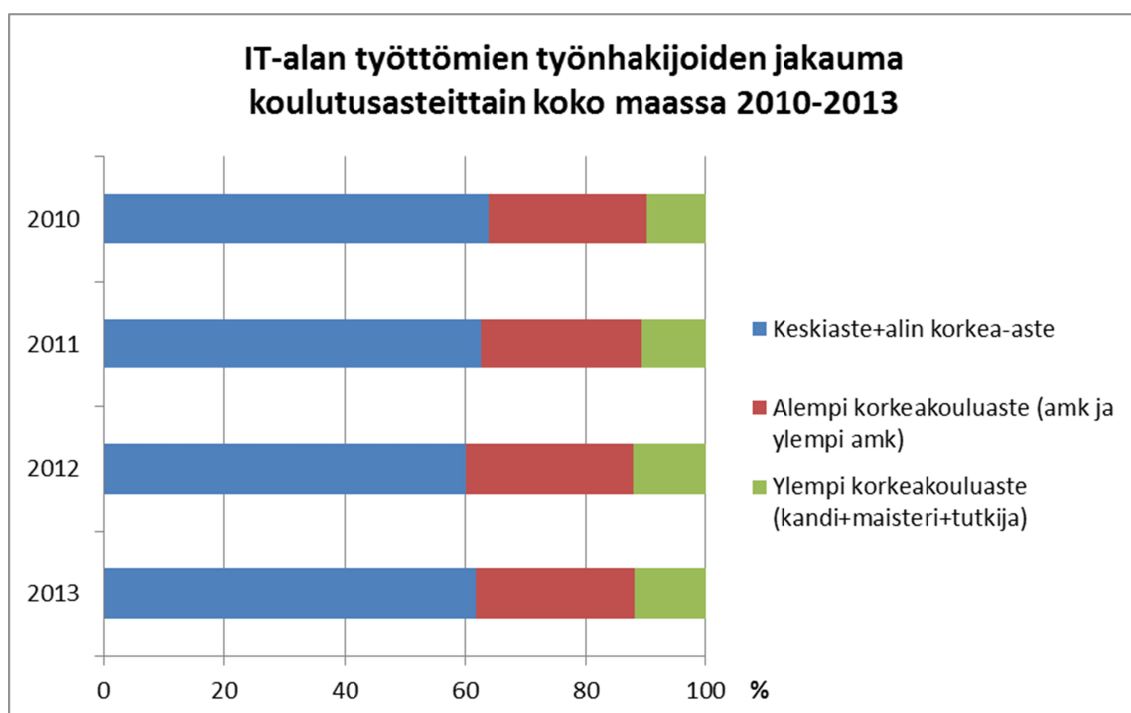
KUVIO 15 Jyväskylän yliopiston kyberturvallisuuden ekosysteemi

## 9 IT-ALAN KOULUTUS JA TYÖLLISYYS

ICT 2015 -työryhmän [27] mukaan ”työnjaon ja teknologian murros on osa luonnollista talouden evoluutiota. Menettämämme tilalle syntyy uutta yritystoimintaa. Innovatiivista liiketoimintaa ja uusia työpaikkoja syntyy nyt kuitenkin hitaammin kuin vanhoja katoaa. Tämä kertoo, että Suomen kyky uudistua on ympäröivää talouden evoluutiota hitaampaa. Siksi koko yhteiskunnalle on elintärkeää vauhdittaa määrätietoisesti kasvua ja uuden syntymistä. Avainkysymys Suomelle on, miten kehitämme uudistumiskykyämme ympäröiviä muutoksia hyödyntäen.”

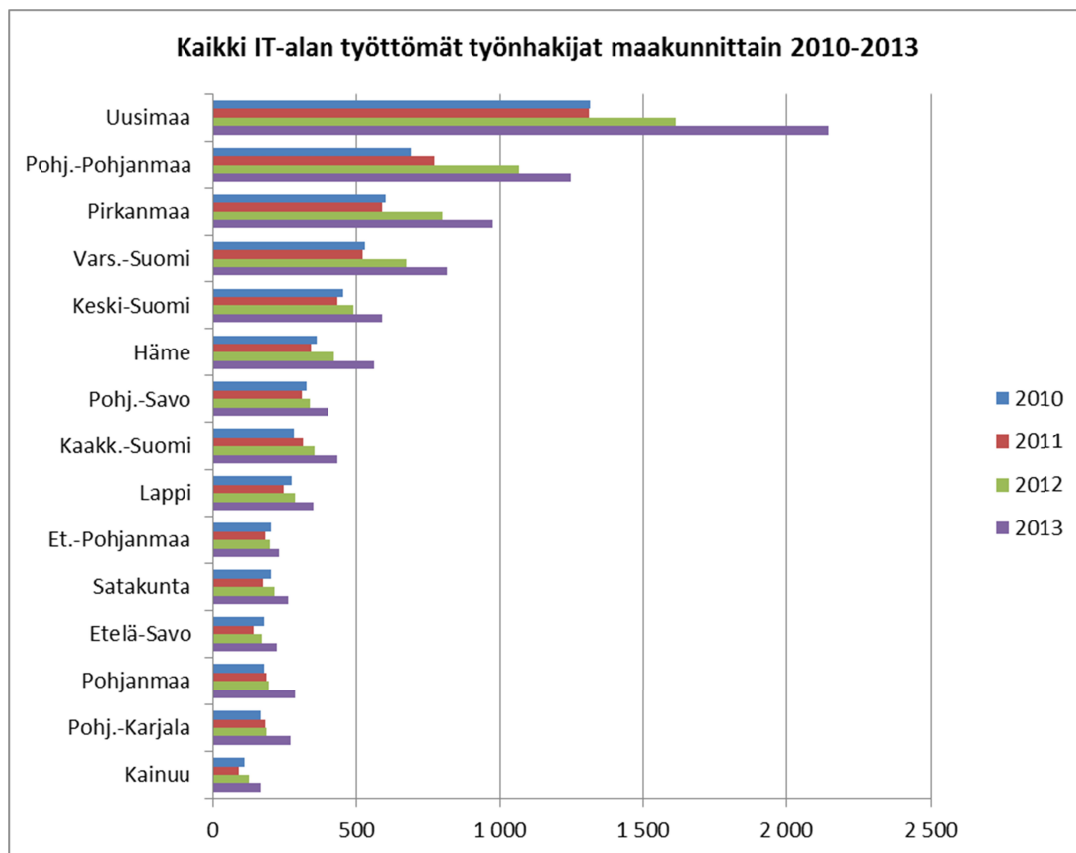
Teknolohiateollisuuden 1/2014 raportin mukaan ”tietotekniikka-alan (tietotekniikka-palvelut, ohjelmistot) yritysten liikevaihto Suomessa oli noin 8,3 miljardia euroa vuonna 2013. Liikevaihto lisääntyi edellisvuotisesta 10 prosenttia. Alan liikevaihtoa kasvattivat erityisesti pelialan yritykset. Tietotekniikka-alan yrityksissä Suomessa oli henkilöstöä viime vuonna noin 55 000. Henkilöstöä oli saman verran kuin edellisvuonna. Taluskriisiä edeltävänä vuonna 2008 alan yritykset työllistivät Suomessa kaikkiaan 51 900 ihmistä.” [24]

Suomessa oli vuoden 2013 lopussa IT- alalla noin 8000 työtöntä. Työttömistä noin 5000 (62 %) oli keskiasteen, 2200 (27 %) opisto/AMK ja 800 (11 %) yliopistotutkinnon suorittaneita. Tutkijankoulutuksen saaneita työttömiä oli noin 40 eli 0.5 %. Kuviossa 16 on esitetty IT-alan työttömien työnhakijoiden jakauma koulutusasteittain koko maassa 2010–2013. [16]



KUVIO 16 IT-alan työttömien työnhakijoiden jakauma koulutusasteittain 2010–2013

Eniten työttömiä työnhakijoita on Uudellamaalla, Pohjois-Pohjanmaalla, Pirkanmaalla ja Varsinais-suomessa. Joissakin maakunnissa IT-alalla on työvoimapula, kuten esimerkiksi Hämeessä, Satakunnassa, Etelä-Savossa, Pohjois-Karjalassa, Etelä-Pohjanmaalla, Pohjanmaalla Kainuussa ja Lapissa. [16] Kuviossa 17 on esitetty IT-alan työttömät työnhakijat maakunnittain 2010–2013.



KUVIO 17 IT-alan työttömät työnhakijat maakunnittain 2010–2013

## LÄHTEET

- [1] Avainteknologiat ja tulevaisuus Yhteiskunnallisia tarkasteluja nousevien teknologioiden ja kvalifikaatioiden yhteyksistä, Opetusministeriön julkaisuja 2003:2
- [2] Euroopan komissio, Euroopan digitaalistrategia, KOM(2010) 245 lopullinen, Bryssel 26.8.2010, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0245:FIN:FI:PDF>
- [3] Eurooppa 2020 -ohjelma, [http://ec.europa.eu/europe2020/index\\_fi.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/index_fi.htm)
- [4] Eurooppa 2020 -strategia, Suomen kansallinen ohjelma, kevät 2013, [http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/nd/nrp2013\\_finland\\_fi.pdf](http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/nd/nrp2013_finland_fi.pdf)
- [5] European Commission, Cybersecurity Strategy of the European Union: An Open, Safe and Secure Cyberspace, JOIN(2013) 1 final Brussels, 7.2.2013, <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/eu-cybersecurity-plan-protect-open-internet-and-online-freedom-and-opportunity-cyber-security>
- [6] Global Information Technology Report 2013, World Economic Forum, 2013, [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GITR\\_Report\\_2013.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GITR_Report_2013.pdf)
- [7] Horizon2020 –programme, <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>
- [8] Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma, 17.6.2011, <http://valtioneuvosto.fi/tiedostot/julkinen/hallitusneuvottelut-2011/neuvottelutulos/fi.pdf>
- [9] Kansallinen palveluväylä, [http://www.vm.fi/vm/fi/04\\_julkaisut\\_ja\\_asiakirjat/03\\_muut\\_asiakirjat/20130516Kansal/name.jsp](http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/03_muut_asiakirjat/20130516Kansal/name.jsp)
- [10] Laitinen Mirjami, Mikä ihmeen palveluväylä, Kuntamarkkinat 11.-12.9.2013
- [11] Laskennallinen tiede - tieteen kolmas menetelmä - Tilannekatsaus 2011, Neittaanmäki Pekka, Tiihonen Timo, Mäkinen Raino, Rossi Tuomo, Tuovinen Tero, Pölönen Ilkka, Kaihlavirta Auri, Neittaanmäki Henriikka ja Melén Antti, Reports of the Department of Mathematical Information Technology. Series B, Scientific computing, No. B 7/2011, [www.jyu.fi/it/laitokset/mit/tutkimus/Laskennalliset\\_tieteet\\_2011.pdf](http://www.jyu.fi/it/laitokset/mit/tutkimus/Laskennalliset_tieteet_2011.pdf)
- [12] Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa, Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä, 2007:23
- [13] Laskennallisten tieteiden kansallinen kehittäminen 2009 - Nykytilan kartoitus, Neittaanmäki Pekka, Tiihonen Timo, Mäkinen Raino, Rossi Tuomo, Tuovinen Tero, Kaihlavirta Auri, Hietaniemi Riku ja Marttila Esa, Reports of the Department of Mathematical Information Technology. Series B, Scientific computing, No. B 6/2009, [www.jyu.fi/it/laitokset/mit/tutkimus/Laskennalliset\\_tieteet\\_2009.pdf](http://www.jyu.fi/it/laitokset/mit/tutkimus/Laskennalliset_tieteet_2009.pdf)
- [14] Mamia Tero & Melin Harri (toim.), Tietoyhteiskunta ja työorganisaatioidenmuutos, Turun yliopiston sosiologian laitos, Sosiologian tutkimuksia B-sarja, Turku 2007

- [15] Modeling and Simulation at the Exascale for Energy and the Environment, Report on the Advanced Scientific Computing Research, Town Hall Meetings on Simulation and Modeling at the Exascale for Energy, Ecological Sustainability and Global Security (E3), 2007
- [16] Neittaanmäki Pekka, Kinnunen Päivi, Työttömyys IT-alalla koko suomessa ja maakunnissa 2010–2013, 2.4.2014,  
[https://www.jyu.fi/it/uutiset/tiedekunta/dokumentit/2ITtyottomat\\_Suomi\\_2010\\_2013\\_020414.pdf](https://www.jyu.fi/it/uutiset/tiedekunta/dokumentit/2ITtyottomat_Suomi_2010_2013_020414.pdf)
- [17] Neittaanmäki Pekka, Neittaanmäki Reeta, Tiihonen Timo ja Ärje Johanna, Yliopistojen tutkintokoulutuksen ja tutkimuksen rahoitus ja tulokset vuosina 2000–2004 ja 2005–2009, Jyväskylän yliopisto, 16.04.2010
- [18] Pilviväylähanke,  
<http://www.minedu.fi/OPM/Koulutus/artikkelit/pilvivayla/index.html>
- [19] Revolutionizing Engineering Science through Simulation, A Report of the National Science Foundation, Blue Ribbon Panel on Simulation-Based Engineering Science, February 2006, 19 [http://www.nsf.gov/pubs/reports/sbes\\_final\\_report.pdf](http://www.nsf.gov/pubs/reports/sbes_final_report.pdf)
- [20] SADe-ohjelma, toimintasuunnitelma 2013, 26.2.2013,  
[http://www.vm.fi/vm/fi/04\\_julkaisut\\_ja\\_asiakirjat/03\\_muut\\_asiakirjat/20130228SADeoh/SADe-ohjelma\\_toimintasuunnitelma\\_2013\\_20130226\\_paeivitetty\\_20130605.pdf](http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/03_muut_asiakirjat/20130228SADeoh/SADe-ohjelma_toimintasuunnitelma_2013_20130226_paeivitetty_20130605.pdf)
- [21] SADe-ohjelman palveluita, <http://www.visuviestinta.fi/sade/>
- [22] SADe-ohjelman verkkosivut, [www.vm.fi/vm/fi/05\\_hankkeet/023\\_sade/index.jsp](http://www.vm.fi/vm/fi/05_hankkeet/023_sade/index.jsp)
- [23] Synergistic Challenges in Data-Intensive Science and Exascale Computing, Summary Report of the Advanced Scientific Computing Advisory Committee (ASCAC) Subcommittee, March 2013,  
<http://science.energy.gov/~media/40749FD92B58438594256267425C4AD1.ashx>
- [24] Teknologiateollisuus, Tilanne ja näkymät 1/2014,  
[file:///C:/Users/Martti/Downloads/TT\\_TilanneNk\\_1\\_2014.pdf](file:///C:/Users/Martti/Downloads/TT_TilanneNk_1_2014.pdf)
- [25] Tuottava ja uudistuva Suomi – Digitaalinen agenda vuosille 2011–2020, Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 2010,  
<http://www.lvm.fi/julkaisu/1225475/tuottava-ja-uudistuva-suomi-digitaalinen-agenda-vuosille-2011-2020>
- [26] Turvallisuuskomitea, Kansallisen kyberturvallisuusstrategian toimeenpano-ohjelma, 11.3.2014, <http://www.turvallisuuskomitea.fi/index.php/fi/20-ajankohtaista/45-kyberturvallisuusstrategian-toimeenpano-ohjelma-on-valmis>
- [27] Työ- ja elinkeinoministeriö, 21 polkua Kitkattomaan Suomeen, ICT 2015 -työryhmän raportti 17.1.2013,  
[http://www.tem.fi/ajankohtaista/julkaisut/julkaisujen\\_haku/21\\_polkua\\_kitkattoon\\_suomeen.98249.xhtml](http://www.tem.fi/ajankohtaista/julkaisut/julkaisujen_haku/21_polkua_kitkattoon_suomeen.98249.xhtml)
- [28] Valtioneuvoston periaatepäätös, Suomen kyberturvallisuusstrategia, 24.1.2013,  
[www.yhteiskunnanturvallisuus.fi](http://www.yhteiskunnanturvallisuus.fi)
- [29] Valtiovarainministeriö, Kansallinen palveluväylä - konsepti, tavoitteet ja ratkaisumalli, muistio 17.6.2013,  
[http://www.vm.fi/vm/fi/04\\_julkaisut\\_ja\\_asiakirjat/03\\_muut\\_asiakirjat/20130516Kansal/name.jsp](http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/03_muut_asiakirjat/20130516Kansal/name.jsp)

## LIITE 1: The ACM Computing Classification System (CCS)

Computing Classification System, 2012 Revision  
 Association for Computing Machinery  
 30 March 2012

[http://dl.acm.org/ccs\\_flat.cfm](http://dl.acm.org/ccs_flat.cfm)

The ACM Computing Classification System (CCS)			
			<a href="#">Switch to Flat View</a> <a href="#">Generate CCS Codes</a>
General and reference	Hardware	Computer systems organization	Networks
Software and its engineering	Theory of computation	Mathematics of computing	Information systems
Security and privacy	Human-centered computing	Computing methodologies	Applied computing
Social and professional topics	Proper nouns: People, technologies and companies	What is the CCS?	

## General and reference

- Document types
  - Surveys and overviews
  - Reference works
  - General conference proceedings
  - Biographies
  - General literature
  - Computing standards, RFCs and guidelines
- Cross-computing tools and techniques
  - Reliability
  - Empirical studies
  - Measurement
  - Metrics
  - Evaluation
  - Experimentation
  - Estimation
  - Design
  - Performance
  - Validation
  - Verification

## Hardware

- Printed circuit boards
  - Electromagnetic interference and compatibility
  - PCB design and layout
- Communication hardware, interfaces and storage
  - Signal processing systems
    - Digital signal processing
    - Beamforming
    - Noise reduction
  - Sensors and actuators
  - Buses and high-speed links
  - Displays and imagers
  - External storage
  - Networking hardware
  - Printers
  - Sensor applications and deployments
  - Sensor devices and platforms
  - Sound-based input / output
  - Tactile and hand-based interfaces
    - Touch screens
    - Haptic devices
  - Scanners
  - Wireless devices
  - Wireless integrated network sensors
  - Electro-mechanical devices
- Integrated circuits
  - 3D integrated circuits
  - Interconnect

- Input / output circuits
- Metallic interconnect
- Photonic and optical interconnect
- Radio frequency and wireless interconnect
- Semiconductor memory
  - Dynamic memory
  - Static memory
  - Non-volatile memory
  - Read-only memory
- Digital switches
  - Transistors
  - Logic families
- Logic circuits
  - Arithmetic and datapath circuits
  - Asynchronous circuits
  - Combinational circuits
  - Design modules and hierarchy
  - Finite state machines
  - Sequential circuits
- Reconfigurable logic and FPGAs
  - Hardware accelerators
  - High-speed input / output
  - Programmable logic elements
  - Programmable interconnect
  - Reconfigurable logic applications
- Very large scale integration design
  - 3D integrated circuits
  - Analog and mixed-signal circuits
    - Data conversion
    - Clock generation and timing
    - Analog and mixed-signal circuit optimization
    - Radio frequency and wireless circuits
    - Wireline communication
    - Analog and mixed-signal circuit synthesis
  - Application-specific VLSI designs
    - Application specific integrated circuits
    - Application specific instruction set processors
    - Application specific processors

- Design reuse and communication-based design
  - Network on chip
  - System on a chip
  - Platform-based design
  - Hard and soft IP
- Design rules
- Economics of chip design and manufacturing
- Full-custom circuits
- VLSI design manufacturing considerations
- On-chip resource management
- On-chip sensors
- Standard cell libraries
- VLSI packaging
  - Die and wafer stacking
  - Input / output styles
  - Multi-chip modules
  - Package-level interconnect
- VLSI system specification and constraints
- Power and energy
  - Thermal issues
    - Temperature monitoring
    - Temperature simulation and estimation
    - Temperature control
    - Temperature optimization
  - Energy generation and storage
    - Batteries
    - Fuel-based energy
    - Renewable energy
    - Reusable energy storage
  - Energy distribution
    - Energy metering
    - Power conversion
    - Power networks
    - Smart grid
  - Impact on the environment
  - Power estimation and optimization
    - Switching devices power issues
    - Interconnect power issues
    - Circuits power issues
    - Chip-level power issues
    - Platform power issues
    - Enterprise level and data centers power issues
- Electronic design automation
  - High-level and register-transfer level synthesis
    - Datapath optimization
    - Hardware-software co-design
    - Resource binding and sharing
    - Operations scheduling
- Hardware description languages and compilation
- Logic synthesis
  - Combinational synthesis
  - Circuit optimization
  - Sequential synthesis
  - Technology-mapping
  - Transistor-level synthesis
- Modeling and parameter extraction
- Physical design (EDA)
  - Clock-network synthesis
  - Packaging
  - Partitioning and floorplanning
  - Placement
  - Physical synthesis
  - Power grid design
  - Wire routing
- Timing analysis
  - Electrical-level simulation
  - Model-order reduction
  - Compact delay models
  - Static timing analysis
  - Statistical timing analysis
  - Transition-based timing analysis
- Methodologies for EDA
  - Best practices for EDA
  - Design databases for EDA
  - Software tools for EDA
- Hardware validation
  - Functional verification
    - Model checking
    - Coverage metrics
    - Equivalence checking
    - Semi-formal verification
    - Simulation and emulation
    - Transaction-level verification
    - Theorem proving and SAT solving
    - Assertion checking
  - Physical verification
    - Design rule checking
    - Layout-versus-schematics
    - Power and thermal analysis
    - Timing analysis and sign-off



- Post-manufacture validation and debug
    - Bug detection, localization and diagnosis
    - Bug fixing (hardware)
    - Design for debug
- Hardware test
  - Analog, mixed-signal and radio frequency test
  - Board- and system-level test
  - Defect-based test
  - Design for testability
    - Built-in self-test
    - Online test and diagnostics
    - Test data compression
  - Fault models and test metrics
  - Memory test and repair
  - Hardware reliability screening
  - Test-pattern generation and fault simulation
  - Testing with distributed and parallel systems
- Robustness
  - Fault tolerance
    - Error detection and error correction
    - Failure prediction
    - Failure recovery, maintenance and self-repair
    - Redundancy
    - Self-checking mechanisms
    - System-level fault tolerance
  - Design for manufacturability
    - Process variations
    - Yield and cost modeling
    - Yield and cost optimization
  - Hardware reliability
    - Aging of circuits and systems
    - Circuit hardening
    - Early-life failures and infant mortality
    - Process, voltage and temperature variations
    - Signal integrity and noise analysis
    - Transient errors and upsets
  - Safety critical systems
- Emerging technologies
  - Analysis and design of emerging devices and systems
    - Emerging architectures
    - Emerging languages and compilers
    - Emerging simulation
    - Emerging tools and methodologies
  - Biology-related information processing
    - Bio-embedded electronics
    - Neural systems
  - Circuit substrates
    - III-V compounds
    - Carbon based electronics
    - Cellular neural networks
    - Flexible and printable circuits
    - Superconducting circuits
  - Electromechanical systems
    - Microelectromechanical systems
    - Nanoelectromechanical systems
  - Emerging interfaces
  - Memory and dense storage
  - Emerging optical and photonic technologies
  - Reversible logic
  - Plasmonics
  - Quantum technologies
    - Single electron devices
    - Tunneling devices
    - Quantum computation
      - Quantum communication and cryptography
      - Quantum error correction and fault tolerance
    - Quantum dots and cellular automata
  - Spintronics and magnetic technologies

### Computer systems organization

- Architectures
  - Serial architectures
    - Reduced instruction set computing
    - Complex instruction set computing
    - Superscalar architectures
    - Pipeline computing
    - Stack machines
  - Parallel architectures

- Very long instruction word
      - Interconnection architectures
      - Multiple instruction, multiple data
      - Cellular architectures
      - Multiple instruction, single data
      - Single instruction, multiple data
      - Systolic arrays
      - Multicore architectures
    - Distributed architectures
      - Cloud computing
      - Client-server architectures
      - n-tier architectures
      - Peer-to-peer architectures
      - Grid computing
    - Other architectures
      - Neural networks
      - Reconfigurable computing
      - Analog computers
      - Data flow architectures
      - Heterogeneous (hybrid) systems
      - Self-organizing autonomic computing
      - Optical computing
      - Quantum computing
      - Molecular computing
      - High-level language architectures
      - Special purpose systems
  - Embedded and cyber-physical systems
    - Sensor networks
    - Robotics
      - Robotic components
      - Robotic control
      - Robotic autonomy
      - External interfaces for robotics
    - Sensors and actuators
    - System on a chip
    - Embedded systems
      - Firmware
      - Embedded hardware
      - Embedded software
  - Real-time systems
    - Real-time operating systems
    - Real-time languages
    - Real-time system specification
    - Real-time system architecture
  - Dependable and fault-tolerant systems and networks
    - Reliability
    - Availability
    - Maintainability and maintenance
    - Processors and memory architectures
    - Secondary storage organization
    - Redundancy
    - Fault-tolerant network topologies
- ### Networks
- Network architectures
    - Network design principles
      - Layering
      - Naming and addressing
    - Programming interfaces
  - Network protocols
    - Network protocol design
    - Protocol correctness
      - Protocol testing and verification
      - Formal specifications
    - Link-layer protocols
    - Network layer protocols
      - Routing protocols
      - Signaling protocols
    - Transport protocols
    - Session protocols
    - Presentation protocols
    - Application layer protocols
      - Peer-to-peer protocols
    - OAM protocols
      - Time synchronization protocols
      - Network policy
    - Cross-layer protocols
    - Network File System (NFS) protocol
  - Network components
    - Intermediate nodes
      - Routers
      - Bridges and switches
    - Physical links
      - Repeaters
    - Middle boxes / network appliances
    - End nodes
      - Network adapters
      - Network servers
    - Wireless access points, base stations and infrastructure
      - Cognitive radios
    - Logical nodes
      - Network domains

- Network algorithms
    - Data path algorithms
      - Packet classification
      - Deep packet inspection
      - Packet scheduling
    - Control path algorithms
      - Network resources allocation
      - Network control algorithms
      - Traffic engineering algorithms
      - Network design and planning algorithms
    - Network economics
  - Network performance evaluation
    - Network performance modeling
    - Network simulations
    - Network experimentation
    - Network performance analysis
    - Network measurement
  - Network properties
    - Network security
      - Security protocols
      - Web protocol security
      - Mobile and wireless security
      - Denial-of-service attacks
      - Firewalls
    - Network range
      - Short-range networks
      - Local area networks
      - Metropolitan area networks
      - Wide area networks
      - Very long-range networks
    - Network structure
      - Topology analysis and generation
      - Physical topologies
      - Logical / virtual topologies
      - Network topology types
        - Point-to-point networks
        - Bus networks
        - Star networks
        - Ring networks
          - Token ring networks
          - Fiber distributed data interface (FDDI)
        - Mesh networks
- Wireless mesh networks
  - Hybrid networks
- Network dynamics
- Network reliability
  - Error detection and error correction
- Network mobility
- Network manageability
- Network privacy and anonymity
- Network services
  - Naming and addressing
  - Cloud computing
  - Location based services
  - Programmable networks
  - In-network processing
  - Network management
  - Network monitoring
- Network types
  - Network on chip
  - Home networks
  - Storage area networks
  - Data center networks
  - Wired access networks
  - Cyber-physical networks
    - Sensor networks
  - Mobile networks
  - Overlay and other logical network structures
    - Peer-to-peer networks
    - World Wide Web (network structure)
    - Social media networks
    - Online social networks
  - Wireless access networks
    - Wireless local area networks
    - Wireless personal area networks
  - Ad hoc networks
    - Mobile ad hoc networks
  - Public Internet
    - Packet-switching networks
- Software and its engineering
  - Software organization and properties
    - Contextual software domains
      - E-commerce infrastructure
      - Software infrastructure
        - Interpreters
        - Middleware
          - Message oriented middleware
          - Reflective middleware

- Embedded middle-ware
  - Virtual machines
- Operating systems
  - File systems management
  - Memory management
    - Virtual memory
    - Main memory
    - Allocation / deallocation strategies
    - Garbage collection
    - Distributed memory
    - Secondary storage
  - Process management
    - Scheduling
    - Deadlocks
    - Multithreading
    - Multiprocessing / multiprogramming / multitasking
    - Monitors
    - Mutual exclusion
    - Concurrency control
    - Power management
    - Process synchronization
  - Communications management
    - Buffering
    - Input / output
    - Message passing
- Virtual worlds software
  - Interactive games
  - Virtual worlds training simulations
- Software system structures
  - Embedded software
  - Software architectures
    - n-tier architectures
    - Peer-to-peer architectures
    - Data flow architectures
    - Cooperating communicating processes
    - Layered systems
    - Publish-subscribe / event-based architectures
  - Electronic blackboards
  - Simulator / interpreter
  - Object oriented architectures
  - Tightly coupled architectures
  - Space-based architectures
  - 3-tier architectures
- Software system models
  - Petri nets
  - State systems
  - Entity relationship modeling
  - Model-driven software engineering
  - Feature interaction
  - Massively parallel systems
- Ultra-large-scale systems
- Distributed systems organizing principles
  - Cloud computing
  - Client-server architectures
  - Grid computing
  - Organizing principles for web applications
- Real-time systems software
- Abstraction, modeling and modularity
- Software functional properties
  - Correctness
    - Synchronization
    - Functionality
    - Real-time schedulability
    - Consistency
    - Completeness
    - Access protection
  - Formal methods
    - Model checking
    - Software verification
    - Automated static analysis
    - Dynamic analysis
- Extra-functional properties
  - Interoperability
  - Software performance
  - Software reliability
  - Software fault tolerance
    - Checkpoint / restart
  - Software safety
  - Software usability
- Software notations and tools

- General programming languages
  - Language types
    - Parallel programming languages
    - Distributed programming languages
    - Imperative languages
    - Object oriented languages
    - Functional languages
    - Concurrent programming languages
    - Constraint and logic languages
    - Data flow languages
    - Extensible languages
    - Assembly languages
    - Multiparadigm languages
    - Very high level languages
  - Language features
    - Abstract data types
    - Polymorphism
    - Inheritance
    - Control structures
    - Data types and structures
    - Classes and objects
    - Modules / packages
    - Constraints
    - Recursion
    - Concurrent programming structures
    - Procedures, functions and subroutines
    - Patterns
    - Coroutines
    - Frameworks
- Formal language definitions
  - Syntax
  - Semantics
- Compilers
  - Interpreters
  - Incremental compilers
  - Retargetable compilers
  - Just-in-time compilers
  - Dynamic compilers
  - Translator writing systems and compiler generators
  - Source code generation
  - Runtime environments
  - Preprocessors
  - Parsers
- Context specific languages
  - Markup languages
    - Extensible Markup Language (XML)
    - Hypertext languages
  - Scripting languages
  - Domain specific languages
  - Specialized application languages
  - API languages
  - Graphical user interface languages
  - Window managers
  - Command and control languages
  - Macro languages
  - Programming by example
  - State based definitions
  - Visual languages
  - Interface definition languages
- System description languages
  - Design languages
  - Unified Modeling Language (UML)
  - Architecture description languages
  - System modeling languages
  - Orchestration languages
  - Integration frameworks
  - Specification languages
- Development frameworks and environments
  - Object oriented frameworks
  - Software as a service orchestration system
  - Integrated and visual development environments
  - Application specific development environments
- Software configuration management and version control systems
- Software libraries and repositories
- Software maintenance tools
- Software creation and management
  - Designing software
    - Requirements analysis
    - Software design engineering
    - Software design tradeoffs
    - Software implementation planning
      - Software design techniques

- Software development process management
    - Software development methods
      - Rapid application development
      - Agile software development
      - Capability Maturity Model
      - Waterfall model
      - Spiral model
      - V-model
      - Design patterns
    - Risk management
  - Software development techniques
    - Software prototyping
    - Object oriented development
    - Flowcharts
    - Reusability
      - Software product lines
    - Error handling and recovery
  - Software verification and validation
    - Software prototyping
    - Operational analysis
    - Software defect analysis
      - Software testing and debugging
    - Fault tree analysis
    - Process validation
      - Walkthroughs
      - Pair programming
      - Use cases
      - Acceptance testing
      - Traceability
    - Formal software verification
    - Empirical software validation
  - Software post-development issues
    - Software reverse engineering
    - Documentation
    - Backup procedures
    - Software evolution
    - Software version control
    - Maintaining software
    - System administration
  - Collaboration in software development
    - Open source model
    - Programming teams
- Theory of computation
- Models of computation
    - Computability
      - Lambda calculus
      - Turing machines
      - Recursive functions
    - Probabilistic computation
    - Quantum computation theory
      - Quantum complexity theory
      - Quantum communication complexity
      - Quantum query complexity
      - Quantum information theory
    - Interactive computation
    - Streaming models
    - Concurrency
      - Parallel computing models
      - Distributed computing models
      - Process calculi
    - Timed and hybrid models
    - Abstract machines
  - Formal languages and automata theory
    - Formalisms
      - Algebraic language theory
      - Rewrite systems
    - Automata over infinite objects
    - Grammars and context-free languages
    - Tree languages
    - Automata extensions
      - Transducers
      - Quantitative automata
    - Regular languages
  - Computational complexity and cryptography
    - Complexity classes
    - Problems, reductions and completeness
    - Communication complexity
    - Circuit complexity
    - Oracles and decision trees
    - Algebraic complexity theory
    - Quantum complexity theory
    - Proof complexity

- Interactive proof systems
  - Complexity theory and logic
  - Cryptographic primitives
  - Cryptographic protocols
- Logic
  - Logic and verification
  - Proof theory
  - Modal and temporal logics
  - Automated reasoning
  - Constraint and logic programming
  - Constructive mathematics
  - Description logics
  - Equational logic and rewriting
  - Finite Model Theory
  - Higher order logic
  - Linear logic
  - Programming logic
  - Abstraction
  - Verification by model checking
  - Type theory
  - Hoare logic
  - Separation logic
- Design and analysis of algorithms
  - Graph algorithms analysis
    - Network flows
    - Sparsification and spanners
    - Shortest paths
    - Dynamic graph algorithms
  - Approximation algorithms analysis
    - Scheduling algorithms
    - Packing and covering problems
    - Routing and network design problems
    - Facility location and clustering
    - Rounding techniques
    - Stochastic approximation
    - Numeric approximation algorithms
  - Mathematical optimization
    - Discrete optimization
      - Network optimization
    - Continuous optimization
      - Linear programming
      - Semidefinite programming
      - Convex optimization
- Quasiconvex programming and unimodality
- Stochastic control and optimization
- Quadratic programming
- Nonconvex optimization
- Mixed discrete-continuous optimization
  - Submodular optimization and polymatroids
  - Integer programming
- Data structures design and analysis
  - Data compression
  - Pattern matching
  - Sorting and searching
  - Predecessor queries
  - Cell probe models and lower bounds
- Online algorithms
  - Online learning algorithms
    - Scheduling algorithms
  - Caching and paging algorithms
  - K-server algorithms
  - Adversary models
- Parameterized complexity and exact algorithms
  - Fixed parameter tractability
  - W hierarchy
- Streaming, sublinear and near linear time algorithms
  - Bloom filters and hashing
  - Sketching and sampling
  - Lower bounds and information complexity
  - Random order and robust communication complexity
  - Nearest neighbor algorithms
- Parallel algorithms
  - MapReduce algorithms
  - Self-organization
  - Shared memory algorithms

- Vector / streaming algorithms
  - Massively parallel algorithms
- Distributed algorithms
  - MapReduce algorithms
  - Self-organization
- Algorithm design techniques
  - Backtracking
  - Branch-and-bound
  - Divide and conquer
  - Dynamic programming
  - Preconditioning
- Concurrent algorithms
- Randomness, geometry and discrete structures
  - Pseudorandomness and derandomization
  - Computational geometry
  - Generating random combinatorial structures
  - Random walks and Markov chains
  - Expander graphs and randomness extractors
  - Error-correcting codes
  - Random projections and metric embeddings
  - Random network models
- Theory and algorithms for application domains
  - Machine learning theory
    - Sample complexity and generalization bounds
    - Boolean function learning
    - Unsupervised learning and clustering
    - Kernel methods
      - Support vector machines
      - Gaussian processes
    - Boosting
    - Bayesian analysis
    - Inductive inference
    - Online learning theory
    - Multi-agent learning
    - Models of learning
    - Query learning
    - Structured prediction
    - Reinforcement learning
      - Sequential decision making
      - Inverse reinforcement learning
  - Apprenticeship learning
  - Multi-agent reinforcement learning
  - Adversarial learning
  - Active learning
  - Semi-supervised learning
  - Markov decision processes
    - Regret bounds
  - Algorithmic game theory and mechanism design
    - Social networks
    - Algorithmic game theory
    - Algorithmic mechanism design
    - Solution concepts in game theory
    - Exact and approximate computation of equilibria
    - Quality of equilibria
    - Convergence and learning in games
    - Market equilibria
    - Computational pricing and auctions
    - Representations of games and their complexity
    - Network games
    - Network formation
    - Computational advertising theory
  - Database theory
    - Data exchange
    - Data provenance
    - Data modeling
    - Database query languages (principles)
    - Database constraints theory
    - Database interoperability
    - Data structures and algorithms for data management
    - Database query processing and optimization (theory)
    - Data integration
    - Logic and databases
    - Theory of database privacy and security



- Incomplete, inconsistent, and uncertain databases
- Semantics and reasoning
  - Program constructs
    - Control primitives
    - Functional constructs
    - Object oriented constructs
    - Program schemes
    - Type structures
  - Program semantics
    - Algebraic semantics
    - Denotational semantics
    - Operational semantics
    - Axiomatic semantics
    - Action semantics
    - Categorical semantics
  - Program reasoning
    - Invariants
    - Program specifications
    - Pre- and post-conditions
    - Program verification
    - Program analysis
    - Assertions
    - Parsing
    - Abstraction
- Approximation algorithms
- Probability and statistics
  - Probabilistic representations
    - Bayesian networks
    - Markov networks
    - Factor graphs
    - Decision diagrams
    - Equational models
    - Causal networks
    - Stochastic differential equations
    - Nonparametric representations
      - Kernel density estimators
      - Spline models
      - Bayesian nonparametric models
  - Probabilistic inference problems
    - Maximum likelihood estimation
    - Bayesian computation
    - Computing most probable explanation
    - Hypothesis testing and confidence interval computation
    - Density estimation
      - Quantile regression
    - Max marginal computation
  - Probabilistic reasoning algorithms
    - Variable elimination
    - Loopy belief propagation
    - Variational methods
    - Expectation maximization
    - Markov-chain Monte Carlo methods
      - Gibbs sampling
      - Metropolis-Hastings algorithm
      - Simulated annealing
      - Markov-chain Monte Carlo convergence measures
    - Sequential Monte Carlo methods
    - Kalman filters and hidden Markov models
    - Resampling methods

## Mathematics of computing

- Discrete mathematics
  - Combinatorics
    - Combinatoric problems
    - Permutations and combinations
    - Combinatorial algorithms
    - Generating functions
    - Combinatorial optimization
    - Combinatorics on words
    - Enumeration
  - Graph theory
    - Trees
    - Hypergraphs
    - Random graphs
    - Graph coloring
    - Paths and connectivity problems
    - Graph enumeration
    - Matchings and factors
    - Graphs and surfaces
    - Network flows
    - Spectra of graphs
    - Extremal graph theory
    - Matroids and greedoids
    - Graph algorithms

- Bootstrapping
      - Jackknifing
    - Random number generation
  - Probabilistic algorithms
  - Statistical paradigms
    - Queueing theory
    - Contingency table analysis
    - Regression analysis
      - Robust regression
    - Time series analysis
    - Survival analysis
    - Renewal theory
    - Dimensionality reduction
    - Cluster analysis
    - Statistical graphics
    - Exploratory data analysis
  - Stochastic processes
    - Markov processes
  - Nonparametric statistics
  - Distribution functions
  - Multivariate statistics
- Mathematical software
  - Solvers
  - Statistical software
  - Mathematical software performance
- Information theory
  - Coding theory
- Mathematical analysis
  - Numerical analysis
    - Computation of transforms
    - Computations in finite fields
    - Computations on matrices
    - Computations on polynomials
      - Gröbner bases and other special bases
    - Number-theoretic computations
    - Interpolation
    - Numerical differentiation
    - Interval arithmetic
    - Arbitrary-precision arithmetic
    - Automatic differentiation
    - Mesh generation
    - Discretization
  - Mathematical optimization
    - Discrete optimization
      - Network optimization
    - Continuous optimization
      - Linear programming
      - Semidefinite programming
      - Convex optimization
      - Quasiconvex programming and unimodality
      - Stochastic control and optimization
      - Quadratic programming
      - Nonconvex optimization
    - Mixed discrete-continuous optimization
      - Submodular optimization and polymatroids
      - Integer programming
- Differential equations
  - Ordinary differential equations
  - Partial differential equations
  - Differential algebraic equations
  - Differential variational inequalities
- Calculus
  - Lambda calculus
  - Differential calculus
  - Integral calculus
- Functional analysis
  - Approximation
- Integral equations
- Nonlinear equations
- Quadrature
- Continuous mathematics
  - Calculus
    - Lambda calculus
    - Differential calculus
    - Integral calculus
  - Topology
    - Point-set topology
    - Algebraic topology
    - Geometric topology
  - Continuous functions

## Information systems

- Data management systems
  - Database design and models
    - Relational database model
    - Entity relationship models
    - Graph-based database models
      - Hierarchical data models
      - Network data models
    - Physical data models
    - Data model extensions
      - Semi-structured data
      - Data streams
      - Data provenance
      - Incomplete data
      - Temporal data
      - Uncertainty
      - Inconsistent data
  - Data structures
    - Data access methods
      - Multidimensional range search
      - Data scans
      - Point lookups
      - Unidimensional range search
      - Proximity search
    - Data layout
      - Data compression
      - Data encryption
      - Record and block layout
  - Database management system engines
    - DBMS engine architectures
    - Database query processing
      - Query optimization
      - Query operators
      - Query planning
      - Join algorithms
    - Database transaction processing
      - Data locking
      - Transaction logging
      - Database recovery
  - Record and buffer management
  - Parallel and distributed DBMSs
    - Key-value stores
    - MapReduce-based systems
    - Relational parallel and distributed DBMSs
  - Triggers and rules
  - Database views
  - Integrity checking
  - Distributed database transactions
    - Distributed data locking
    - Deadlocks
    - Distributed database recovery
  - Main memory engines
  - Online analytical processing engines
  - Stream management
- Query languages
  - Relational database query languages
    - Structured Query Language
  - XML query languages
    - XPath
    - XQuery
  - Query languages for non-relational engines
    - MapReduce languages
  - Call level interfaces
- Database administration
  - Database utilities and tools
  - Database performance evaluation
  - Autonomous database administration
  - Data dictionaries
- Information integration
  - Deduplication
  - Extraction, transformation and loading
  - Data exchange

- Data cleaning
- Wrappers (data mining)
- Mediators and data integration
- Entity resolution
- Data warehouses
- Federated databases
- Middleware for databases
  - Database web servers
  - Application servers
  - Object-relational mapping facilities
  - Data federation tools
  - Data replication tools
  - Distributed transaction monitors
  - Message queues
  - Service buses
  - Enterprise application integration tools
  - Middleware business process managers
- Information storage systems
  - Information storage technologies
    - Magnetic disks
    - Magnetic tapes
    - Optical / magneto-optical disks
    - Storage class memory
      - Flash memory
      - Phase change memory
    - Disk arrays
    - Tape libraries
  - Record storage systems
    - Record storage alternatives
      - Heap (data structure)
      - Hashed file organization
      - Indexed file organization
      - Linked lists
    - Directory structures
      - B-trees
      - Vnodes
      - Inodes
      - Extent-based file structures
    - Block / page strategies
      - Slotted pages
      - Intrapage space management
- Interpage free-space management
- Record layout alternatives
  - Fixed length attributes
  - Variable length attributes
  - Null values in records
- Relational storage
  - Horizontal partitioning
  - Vertical partitioning
  - Column based storage
  - Hybrid storage layouts
  - Compression strategies
- Storage replication
  - Mirroring
  - RAID
  - Point-in-time copies
  - Remote replication
  - Storage recovery strategies
- Storage architectures
  - Cloud based storage
  - Storage network architectures
    - Storage area networks
    - Direct attached storage
    - Network attached storage
  - Distributed storage
- Storage management
  - Hierarchical storage management
  - Storage virtualization
  - Information lifecycle management
  - Version management
  - Storage power management
  - Thin provisioning
- Information systems applications
  - Enterprise information systems
    - Intranets
    - Extranets

- Enterprise resource planning
  - Enterprise applications
  - Data centers
- Collaborative and social computing systems and tools
  - Blogs
  - Wikis
  - Reputation systems
  - Open source software
  - Social networking sites
  - Social tagging systems
  - Synchronous editors
  - Asynchronous editors
- Spatial-temporal systems
  - Location based services
  - Geographic information systems
  - Sensor networks
  - Data streaming
  - Global positioning systems
- Decision support systems
  - Data warehouses
  - Expert systems
  - Data analytics
  - Online analytical processing
- Mobile information processing systems
- Process control systems
- Multimedia information systems
  - Multimedia databases
  - Multimedia streaming
  - Multimedia content creation
  - Massively multiplayer online games
- Data mining
  - Data cleaning
  - Collaborative filtering
  - Association rules
  - Clustering
  - Nearest-neighbor search
  - Data stream mining
- Digital libraries and archives
- Computational advertising
- Computing platforms
- World Wide Web
  - Web searching and information discovery
    - Web search engines
      - Web crawling
      - Web indexing
    - Page and site ranking
    - Spam detection
  - Content ranking
  - Collaborative filtering
  - Social recommendation
  - Personalization
  - Social tagging
- Online advertising
  - Sponsored search advertising
  - Content match advertising
  - Display advertising
  - Social advertising
- Web mining
  - Site wrapping
  - Data extraction and integration
    - Deep web
    - Surfacing
    - Search results deduplication
  - Web log analysis
  - Traffic analysis
- Web applications
  - Internet communications tools
    - Email
    - Blogs
    - Texting
    - Chat
    - Web conferencing
  - Social networks
  - Crowdsourcing
    - Answer ranking
    - Trust
    - Incentive schemes
    - Reputation systems
  - Electronic commerce
    - Digital cash
    - E-commerce infrastructure
    - Electronic data interchange
    - Electronic funds transfer
    - Online shopping
    - Online banking
    - Secure online transactions
    - Online auctions

- Web interfaces
      - Wikis
      - Browsers
      - Mashups
    - Web services
      - Simple Object Access Protocol (SOAP)
      - RESTful web services
      - Web Services Description Language (WSDL)
      - Universal Description Discovery and Integration (UDDI)
      - Service discovery and interfaces
    - Web data description languages
      - Semantic web description languages
        - Resource Description Framework (RDF)
        - Web Ontology Language (OWL)
      - Markup languages
        - Extensible Markup Language (XML)
        - Hypertext languages
  - Information retrieval
    - Document representation
      - Document structure
      - Document topic models
      - Content analysis and feature selection
      - Data encoding and canonicalization
      - Document collection models
      - Ontologies
      - Dictionaries
      - Thesauri
    - Information retrieval query processing
      - Query representation
      - Query intent
      - Query log analysis
      - Query suggestion
      - Query reformulation
    - Users and interactive retrieval
      - Personalization
      - Task models
      - Search interfaces
      - Collaborative search
    - Retrieval models and ranking
      - Rank aggregation
      - Probabilistic retrieval models
      - Language models
      - Similarity measures
      - Learning to rank
      - Combination, fusion and federated search
      - Information retrieval diversity
      - Top-k retrieval in databases
      - Novelty in information retrieval
  - Retrieval tasks and goals
    - Question answering
    - Document filtering
    - Recommender systems
    - Information extraction
    - Sentiment analysis
    - Expert search
    - Near-duplicate and plagiarism detection
    - Clustering and classification
    - Summarization
    - Business intelligence
  - Evaluation of retrieval results
    - Test collections
    - Relevance assessment
    - Retrieval effectiveness
    - Retrieval efficiency
    - Presentation of retrieval results
  - Search engine architectures and scalability
    - Search engine indexing
    - Search index compression
    - Distributed retrieval
    - Peer-to-peer retrieval
    - Retrieval on mobile devices
    - Adversarial retrieval
    - Link and co-citation analysis
    - Searching with auxiliary databases
  - Specialized information retrieval
    - Structure and multilingual text search
      - Structured text search

- Mathematics retrieval
- Chemical and biochemical retrieval
- Multilingual and cross-lingual retrieval
- Multimedia and multi-modal retrieval
  - Image search
  - Video search
  - Speech / audio search
  - Music retrieval
- Environment-specific retrieval
  - Enterprise search
  - Desktop search
  - Web and social media search

## Security and privacy

- Cryptography
  - Key management
  - Public key (asymmetric) techniques
    - Digital signatures
    - Public key encryption
  - Symmetric cryptography and hash functions
    - Block and stream ciphers
    - Hash functions and message authentication codes
  - Cryptanalysis and other attacks
  - Information-theoretic techniques
  - Mathematical foundations of cryptography
- Formal methods and theory of security
  - Trust frameworks
  - Security requirements
  - Formal security models
  - Logic and verification
- Security services
  - Authentication
    - Biometrics
    - Graphical / visual passwords
    - Multi-factor authentication
  - Access control
  - Pseudonymity, anonymity and untraceability
  - Privacy-preserving protocols
- Intrusion/anomaly detection and malware mitigation
  - Malware and its mitigation
  - Intrusion detection systems
  - Social engineering attacks
    - Spoofing attacks
    - Phishing
- Security in hardware
  - Tamper-proof and tamper-resistant designs
  - Embedded systems security
  - Hardware security implementation
    - Hardware-based security protocols
  - Hardware attacks and counter-measures
    - Malicious design modifications
    - Side-channel analysis and countermeasures
  - Hardware reverse engineering
- Systems security
  - Operating systems security
    - Mobile platform security
    - Trusted computing
    - Virtualization and security
  - Browser security
  - Distributed systems security
  - Information flow control
  - Denial-of-service attacks
  - Firewalls
  - Vulnerability management
    - Penetration testing
    - Vulnerability scanners
  - File system security
- Network security
  - Security protocols
  - Web protocol security
  - Mobile and wireless security
  - Denial-of-service attacks
  - Firewalls
- Database and storage security
  - Data anonymization and sanitization
  - Management and querying of encrypted data
  - Information accountability and usage control
  - Database activity monitoring
- Software and application security
  - Software security engineering

- Web application security
- Social network security and privacy
- Domain-specific security and privacy architectures
- Software reverse engineering
- Human and societal aspects of security and privacy
  - Economics of security and privacy
  - Social aspects of security and privacy
  - Privacy protections
  - Usability in security and privacy

### Human-centered computing

- Human computer interaction (HCI)
  - HCI design and evaluation methods
    - User models
    - User studies
    - Usability testing
    - Heuristic evaluations
    - Walkthrough evaluations
    - Laboratory experiments
    - Field studies
  - Interaction paradigms
    - Hypertext / hypermedia
    - Mixed / augmented reality
    - Command line interfaces
    - Graphical user interfaces
    - Virtual reality
    - Web-based interaction
    - Natural language interfaces
    - Collaborative interaction
  - Interaction devices
    - Graphics input devices
    - Displays and imagers
    - Sound-based input / output
    - Keyboards
    - Pointing devices
    - Touch screens
    - Haptic devices
  - HCI theory, concepts and models
  - Interaction techniques
    - Auditory feedback
    - Text input
    - Pointing
    - Gestural input
  - Interactive systems and tools
    - User interface management systems

- User interface programming
- User interface toolkits
- Empirical studies in HCI
- Interaction design
  - Interaction design process and methods
    - User interface design
    - User centered design
    - Activity centered design
    - Scenario-based design
    - Participatory design
    - Contextual design
    - Interface design prototyping
  - Interaction design theory, concepts and paradigms
  - Empirical studies in interaction design
  - Systems and tools for interaction design
    - Wireframes
- Collaborative and social computing
  - Collaborative and social computing theory, concepts and paradigms
    - Social content sharing
    - Collaborative content creation
    - Collaborative filtering
    - Social recommendation
    - Social networks
    - Social tagging
    - Computer supported cooperative work
    - Social engineering (social sciences)
    - Social navigation
    - Social media
  - Collaborative and social computing design and evaluation methods
    - Social network analysis
    - Ethnographic studies
  - Collaborative and social computing systems and tools
    - Blogs
    - Wikis
    - Reputation systems
    - Open source software
    - Social networking sites
    - Social tagging systems
    - Synchronous editors
    - Asynchronous editors



- Empirical studies in collaborative and social computing
  - Collaborative and social computing devices
- Ubiquitous and mobile computing
  - Ubiquitous and mobile computing theory, concepts and paradigms
    - Ubiquitous computing
    - Mobile computing
    - Ambient intelligence
  - Ubiquitous and mobile computing systems and tools
  - Ubiquitous and mobile devices
    - Smartphones
    - Interactive whiteboards
    - Mobile phones
    - Mobile devices
    - Portable media players
    - Personal digital assistants
    - Handheld game consoles
    - E-book readers
    - Tablet computers
  - Ubiquitous and mobile computing design and evaluation methods
  - Empirical studies in ubiquitous and mobile computing
- Visualization
  - Visualization techniques
    - Treemaps
    - Hyperbolic trees
    - Heat maps
    - Graph drawings
    - Dendrograms
    - Cladograms
  - Visualization application domains
    - Scientific visualization
    - Visual analytics
    - Geographic visualization
    - Information visualization
  - Visualization systems and tools
    - Visualization toolkits
  - Visualization theory, concepts and paradigms
  - Empirical studies in visualization
  - Visualization design and evaluation methods
- Accessibility
  - Accessibility theory, concepts and paradigms
  - Empirical studies in accessibility
  - Accessibility design and evaluation methods
  - Accessibility technologies
  - Accessibility systems and tools

## Computing methodologies

- Symbolic and algebraic manipulation
  - Symbolic and algebraic algorithms
    - Combinatorial algorithms
    - Algebraic algorithms
    - Nonalgebraic algorithms
    - Symbolic calculus algorithms
    - Exact arithmetic algorithms
    - Hybrid symbolic-numeric methods
    - Discrete calculus algorithms
    - Number theory algorithms
    - Equation and inequality solving algorithms
    - Linear algebra algorithms
    - Theorem proving algorithms
    - Boolean algebra algorithms
    - Optimization algorithms
  - Computer algebra systems
    - Special-purpose algebraic systems
  - Representation of mathematical objects
    - Representation of exact numbers
    - Representation of mathematical functions
    - Representation of Boolean functions
    - Representation of polynomials
- Parallel computing methodologies
  - Parallel algorithms
    - MapReduce algorithms
    - Self-organization
    - Shared memory algorithms
    - Vector / streaming algorithms
    - Massively parallel algorithms
  - Parallel programming languages
- Artificial intelligence
  - Natural language processing
    - Information extraction
    - Machine translation
    - Discourse, dialogue and pragmatics

- Natural language generation
- Speech recognition
- Lexical semantics
- Phonology / morphology
- Language resources
- Knowledge representation and reasoning
  - Description logics
  - Semantic networks
  - Nonmonotonic, default reasoning and belief revision
  - Probabilistic reasoning
  - Vagueness and fuzzy logic
  - Causal reasoning and diagnostics
  - Temporal reasoning
  - Cognitive robotics
  - Ontology engineering
  - Logic programming and answer set programming
  - Spatial and physical reasoning
  - Reasoning about belief and knowledge
- Planning and scheduling
  - Planning for deterministic actions
  - Planning under uncertainty
  - Multi-agent planning
  - Planning with abstraction and generalization
  - Robotic planning
- Search methodologies
  - Heuristic function construction
  - Discrete space search
  - Continuous space search
  - Randomized search
  - Game tree search
  - Abstraction and micro-operators
  - Search with partial observations
- Control methods
  - Robotic planning
  - Computational control theory
  - Motion path planning
- Philosophical/theoretical foundations of artificial intelligence
  - Cognitive science
  - Theory of mind
- Distributed artificial intelligence
  - Multi-agent systems
  - Intelligent agents
  - Mobile agents
  - Cooperation and coordination
- Computer vision
  - Computer vision tasks
    - Biometrics
    - Scene understanding
    - Activity recognition and understanding
    - Video summarization
    - Visual content-based indexing and retrieval
    - Visual inspection
    - Vision for robotics
    - Scene anomaly detection
  - Image and video acquisition
    - Camera calibration
    - Epipolar geometry
    - Computational photography
    - Hyperspectral imaging
    - Motion capture
    - 3D imaging
    - Active vision
  - Computer vision representations
    - Image representations
    - Shape representations
    - Appearance and texture representations
    - Hierarchical representations
  - Computer vision problems
    - Interest point and salient region detections

- Image segmentation
  - Video segmentation
  - Shape inference
  - Object detection
  - Object recognition
  - Object identification
  - Tracking
  - Reconstruction
  - Matching
- Machine learning
- Learning paradigms
  - Supervised learning
    - Ranking
    - Learning to rank
    - Supervised learning by classification
    - Supervised learning by regression
    - Structured outputs
    - Cost-sensitive learning
  - Unsupervised learning
    - Cluster analysis
    - Anomaly detection
    - Mixture modeling
    - Topic modeling
    - Source separation
    - Motif discovery
    - Dimensionality reduction and manifold learning
  - Reinforcement learning
    - Sequential decision making
    - Inverse reinforcement learning
    - Apprenticeship learning
    - Multi-agent reinforcement learning
    - Adversarial learning
  - Multi-task learning
- Transfer learning
  - Lifelong machine learning
  - Learning under covariate shift
- Learning settings
  - Batch learning
  - Online learning settings
  - Learning from demonstrations
  - Learning from critiques
  - Learning from implicit feedback
  - Active learning settings
  - Semi-supervised learning settings
- Machine learning approaches
  - Classification and regression trees
  - Kernel methods
    - Support vector machines
    - Gaussian processes
  - Neural networks
  - Logical and relational learning
    - Inductive logic learning
    - Statistical relational learning
  - Learning in probabilistic graphical models
    - Maximum likelihood modeling
    - Maximum entropy modeling
    - Maximum a posteriori modeling
    - Mixture models
    - Latent variable models
    - Bayesian network models
  - Learning linear models
    - Perceptron algorithm
  - Factorization methods
    - Non-negative matrix factorization
    - Factor analysis
    - Principal component analysis

- Canonical correlation analysis
      - Latent Dirichlet allocation
    - Rule learning
    - Instance-based learning
    - Markov decision processes
    - Partially-observable Markov decision processes
    - Stochastic games
    - Learning latent representations
      - Deep belief networks
  - Machine learning algorithms
    - Dynamic programming for Markov decision processes
      - Value iteration
      - Q-learning
      - Policy iteration
      - Temporal difference learning
      - Approximate dynamic programming methods
    - Ensemble methods
      - Boosting
      - Bagging
    - Spectral methods
    - Feature selection
    - Regularization
  - Cross-validation
- Modeling and simulation
  - Model development and analysis
    - Modeling methodologies
    - Model verification and validation
    - Uncertainty quantification
  - Simulation theory
    - Systems theory
    - Network science
  - Simulation types and techniques
    - Uncertainty quantification
    - Quantum mechanic simulation
    - Molecular simulation
    - Rare-event simulation
    - Discrete-event simulation
    - Agent / discrete models
    - Distributed simulation
  - Continuous simulation
  - Continuous models
  - Real-time simulation
  - Interactive simulation
  - Multiscale systems
  - Massively parallel and high-performance simulations
    - Data assimilation
    - Scientific visualization
    - Visual analytics
    - Simulation by animation
  - Simulation support systems
    - Simulation environments
    - Simulation languages
    - Simulation tools
  - Simulation evaluation
- Computer graphics
  - Animation
    - Motion capture
    - Procedural animation
    - Physical simulation
    - Motion processing
    - Collision detection
  - Rendering
    - Rasterization
    - Ray tracing
    - Non-photorealistic rendering
    - Reflectance modeling
    - Visibility
  - Image manipulation
    - Computational photography
    - Image processing
    - Texturing
    - Image-based rendering
    - Antialiasing
  - Graphics systems and interfaces
    - Graphics processors
    - Graphics input devices
    - Mixed / augmented reality
    - Perception
    - Graphics file formats
    - Virtual reality
  - Image compression
  - Shape modeling
    - Mesh models
    - Mesh geometry models
    - Parametric curve and surface models
    - Point-based models
    - Volumetric models

- Shape analysis
- Distributed computing methodologies
  - Distributed algorithms
    - MapReduce algorithms
    - Self-organization
  - Distributed programming languages
- Concurrent computing methodologies
  - Concurrent programming languages
  - Concurrent algorithms

## Applied computing

- Electronic commerce
  - Digital cash
  - E-commerce infrastructure
  - Electronic data interchange
  - Electronic funds transfer
  - Online shopping
  - Online banking
  - Secure online transactions
  - Online auctions
- Enterprise computing
  - Enterprise information systems
    - Intranets
    - Extranets
    - Enterprise resource planning
    - Enterprise applications
    - Data centers
  - Business process management
    - Business process modeling
    - Business process management systems
    - Business process monitoring
    - Cross-organizational business processes
    - Business intelligence
  - Enterprise architectures
    - Enterprise architecture management
    - Enterprise architecture frameworks
    - Enterprise architecture modeling
  - Service-oriented architectures
  - Event-driven architectures
  - Business rules
  - Enterprise modeling
  - Enterprise ontologies, taxonomies and vocabularies
  - Enterprise data management
  - Reference models

- Business-IT alignment
- IT architectures
- IT governance
- Enterprise computing infrastructures
- Enterprise interoperability
  - Enterprise application integration
  - Information integration and interoperability
- Physical sciences and engineering
  - Aerospace
    - Avionics
  - Archaeology
  - Astronomy
  - Chemistry
  - Earth and atmospheric sciences
    - Environmental sciences
  - Engineering
    - Computer-aided design
  - Physics
  - Mathematics and statistics
  - Electronics
    - Avionics
  - Telecommunications
    - Internet telephony
- Life and medical sciences
  - Computational biology
    - Molecular sequence analysis
    - Recognition of genes and regulatory elements
    - Molecular evolution
    - Computational transcriptomics
    - Biological networks
    - Sequencing and genotyping technologies
    - Imaging
    - Computational proteomics
    - Molecular structural biology
    - Computational genomics
  - Genomics
    - Computational genomics
  - Systems biology
  - Consumer health
  - Health care information systems
  - Health informatics
  - Bioinformatics
  - Metabolomics / metabonomics
  - Genetics
    - Population genetics
    - Proteomics

- Computational proteomics
        - Transcriptomics
    - Law, social and behavioral sciences
      - Anthropology
        - Ethnography
      - Law
      - Psychology
      - Economics
      - Sociology
    - Computer forensics
      - Surveillance mechanisms
      - Investigation techniques
      - Evidence collection, storage and analysis
      - Network forensics
      - System forensics
      - Data recovery
    - Arts and humanities
      - Fine arts
      - Performing arts
      - Architecture (buildings)
        - Computer-aided design
      - Language translation
      - Media arts
      - Sound and music computing
    - Computers in other domains
      - Digital libraries and archives
      - Publishing
      - Military
        - Cyberwarfare
      - Cartography
      - Agriculture
      - Computing in government
        - Voting / election technologies
        - E-government
      - Personal computers and PC applications
        - Word processors
        - Spreadsheets
        - Computer games
        - Microcomputers
    - Operations research
      - Consumer products
      - Industry and manufacturing
        - Supply chain management
        - Command and control
      - Computer-aided manufacturing
      - Decision analysis
      - Transportation
      - Forecasting
      - Marketing
    - Education
      - Digital libraries and archives
      - Computer-assisted instruction
      - Interactive learning environments
      - Collaborative learning
      - Learning management systems
      - Distance learning
      - E-learning
      - Computer-managed instruction
    - Document management and text processing
      - Document searching
      - Document management
        - Text editing
        - Version control
        - Document metadata
      - Document capture
        - Document analysis
        - Document scanning
        - Graphics recognition and interpretation
        - Optical character recognition
        - Online handwriting recognition
      - Document preparation
        - Markup languages
          - Extensible Markup Language (XML)
          - Hypertext languages
        - Annotation
        - Format and notation
        - Multi / mixed media creation
        - Image composition
        - Hypertext / hypermedia creation
        - Document scripting languages
- Social and professional topics
- Professional topics
    - Computing industry
      - Industry statistics
      - Computer manufacturing
      - Sustainability
    - Management of computing and information systems
      - Project and people management
        - Project management techniques
        - Project staffing

- Systems planning
  - Systems analysis and design
  - Systems development
  - Computer and information systems training
- Implementation management
  - Hardware selection
  - Computing equipment management
  - Pricing and resource allocation
- Software management
  - Software maintenance
  - Software selection and adaptation
- System management
  - Centralization / decentralization
  - Technology audits
  - Quality assurance
- Network operations
- File systems management
- Information system economics
- History of computing
  - Historical people
  - History of hardware
  - History of software
  - History of programming languages
  - History of computing theory
- Computing education
  - Computational thinking
  - Accreditation
  - Model curricula
  - Computing education programs
    - Information systems education
- Computer science education
  - CS1
- Computer engineering education
- Information technology education
- Information science education
- Computational science and engineering education
- Software engineering education
- Informal education
- Computing literacy
- Student assessment
- K-12 education
- Adult education
- Computing and business
  - Employment issues
  - Automation
  - Computer supported cooperative work
  - Economic impact
  - Offshoring
  - Reengineering
  - Socio-technical systems
- Computing profession
  - Codes of ethics
  - Employment issues
  - Funding
  - Computing occupations
  - Computing organizations
  - Testing, certification and licensing
  - Assistive technologies
- Computing / technology policy
  - Intellectual property
    - Digital rights management
    - Copyrights
    - Software reverse engineering
    - Patents
    - Trademarks
    - Internet governance / domain names
    - Licensing

- Treaties
- Database protection laws
- Secondary liability
- Soft intellectual property
- Hardware reverse engineering
- Privacy policies
- Censorship
  - Pornography
  - Hate speech
  - Political speech
  - Technology and censorship
  - Censoring filters
- Surveillance
  - Governmental surveillance
  - Corporate surveillance
- Commerce policy
  - Taxation
  - Transborder data flow
  - Antitrust and competition
  - Governmental regulations
  - Online auctions policy
  - Consumer products policy
- Network access control
  - Censoring filters
  - Broadband access
  - Net neutrality
  - Network access restrictions
    - Age-based restrictions
    - Acceptable use policy restrictions
  - Universal access
- Computer crime
  - Social engineering attacks
    - Spoofing attacks
    - Phishing
  - Identity theft
  - Financial crime
  - Malware / spyware crime
- Government technology policy
  - Governmental regulations
  - Import / export controls
- Medical information policy
  - Medical records
  - Personal health records
  - Genetic information
  - Patient privacy
  - Health information exchanges
  - Medical technologies
    - Remote medicine
- User characteristics
  - Race and ethnicity
  - Religious orientation
  - Gender
    - Men
    - Women
  - Sexual orientation
  - People with disabilities
  - Geographic characteristics
  - Cultural characteristics
  - Age
    - Children
    - Seniors
    - Adolescents

### Proper nouns: People, technologies and companies

- Companies
  - Accenture
  - Adobe Systems Incorporated
  - Macromedia
  - Advanced Information Systems
  - Agere Systems, Inc.
  - Agilent Technologies
  - Alcatel-Lucent
    - Bell Labs
  - AOL, Inc.
  - Apple, Inc.
  - AT&T
  - BAE Systems
  - BEA Systems, Inc.
  - Blizzard Entertainment
  - Blue Sky Studios
  - Borland Software Corporation
  - CA Technologies
  - Cable & Wireless Worldwide
  - Cadence Design Systems
  - China Telecom Corporation Limited
  - Cisco Systems, Inc.
  - Citrix Systems, Inc.
  - Commerce One
  - Compaq Computer Corporation
  - Dell Computer Corporation
  - DiamondCluster International, Inc.
  - Digital Equipment Corporation
  - EIS, Inc.



- EMC Corporation
- Ericsson
- Ernst & Young
- Forrester Research
- Gartner Group
- General Dynamics
- General Electric
- Google Inc.
- Hewlett-Packard Company
  - HP Labs
- Infineon Technologies
- Infusion
- Intel Corporation
- International Business Machines Corporation
  - IBM Almaden Research Center
  - The IBM Toronto Software Lab
- International Data Corporation (IDC)
- Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
- Iona Technologies
- ITSS, Inc.
- Juniper Networks
- Lockheed Martin Corporation
- McKinsey & Company
- Microsoft Corporation
- National Instruments Corporation
- Nortel Networks Corporation
- Novell, Inc.
- Oracle Corporation
- Sun Microsystems
- Philips Semiconductors
- NXP Semiconductors
- Pixar Animation Studios
- Quest Software, Inc.
- Rational Software Corporation
- Research in Motion Limited
- RSA
- SAS Institute, Inc.
- Sega Corporation
- Siemens AG
- Silicon Graphics, Inc.
- SRI International
- Standard Performance Evaluation Corporation
- Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Limited
- Telcordia Technologies
- Texas Instruments Inc.
- Toshiba Corporation
- Virage Logic
- Xerox Corporation
  - PARC
- Yahoo! Inc.
- Zilog, Inc.
- SANS Institute
- The Standish Group International, Inc.
- Virtual University Enterprises
- Corel Corporation
- eBay Inc.
- Motorola Solutions, Inc.
- Motorola Mobility, Inc.
- Motorola, Inc.
- Mozilla Corporation
- Nokia Corporation
- NVIDIA Corporation
- Sony Corporation
- Novell, Inc.
- Organizations
  - American Mathematical Society
  - Association for Information Systems
  - Defense Advanced Research Projects Agency
  - National Academy of Sciences
  - National Research Council
  - American Statistical Association
  - Ames Research Center
  - American National Standards Institute
  - Apache Software Foundation
  - Argonne National Laboratory
  - International Software Benchmarking Standards Group Limited
  - Brazilian Computer Society
  - British Computer Society
  - Clay Mathematics Institute
  - Computer History Museum
  - International Computer Music Association
  - Computer Press Association
  - Computing Community Consortium
  - Computing Research Association
  - CSAB
  - Computer Science Teachers Association
  - TDWI
  - Eclipse Foundation
  - Electronic Frontier Foundation
  - European Telecommunications Standards Institute
  - Free Software Foundation
  - International Game Developers Association
  - International Organization for Standardization
  - ITU

- Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences
- JISC
- Open Knowledge Society
- Langley Research Center
- Lawrence Berkeley National Laboratory
- Lawrence Livermore National Laboratory
- Linux Professional Institute
- London Mathematical Society
- Los Alamos National Laboratory
- Max Planck Institutes
- National Center for Education Statistics
- National Institute of Standards and Technology
- National Science Foundation
- Oak Ridge National Laboratory
- Open Network Laboratory
- OSGi Alliance
- Operational Research Society
- Open Source Initiative
- Pacific Northwest National Laboratory
- Joint Photographic Experts Group
- Moving Picture Experts Group
- Transaction Processing Performance Council
- Royal Statistical Society
- San Diego Supercomputer Center
- Semiconductor Industry Association
- Software Engineering Institute
- SLAC National Accelerator Laboratory
- Trusted Computing Group
- Computing Technology Industry Association
- The Open Group
- Viewpoints Research Institute
- Wikimedia Foundation, Inc.
- World Intellectual Property Organization
- Charles Babbage Institute
- ABET, Inc.
  - Computing Accreditation Commission
- Courant Institute of Mathematical Sciences
- Electronic Visualization Laboratory
- European Network and Information Security Agency
- Human Factors and Ergonomics Society
- Jet Propulsion Laboratory
- Massachusetts Institute of Technology
  - MIT Media Lab
    - Personal Robots Group
- National Academy of Engineering
- Patent and Trademark Office
- Sandia National Laboratories
- Systems Research Center
- IEEE Computer Society
  - Test Technology Technical Council
- World Wide Web Consortium
- Association for Computing Machinery
- Mozilla Foundation
- National Institutes of Health
- Object Management Group
- Federal Communications Commission
- People in computing
  - A. van Wijngaarden
  - Ada Lovelace
  - Alan Cooper
  - Alan J. Perlis
  - Alan Mathison Turing
  - Allen Kent
  - Allen Newell
  - Andrew S. Grove
  - Barbara Liskov
  - Barry W. Boehm
  - Bill Gates
  - Bill Joy
  - Bill Millard
  - Bjarne Stroustrup
  - Bruce Schneier
  - C. A. R. Hoare
  - Charles Babbage
  - Charles Tandy
  - Claude Elwood Shannon
  - Clive Sinclair
  - David Hilbert
  - Donald Ervin Knuth
  - Edmund Callis Berkeley
  - Elliot Irving Organick
  - Gary McGraw
  - Georg Scheutz
  - Grace Murray Hopper
  - H. D. Goode
  - Herbert A. Simon
  - Herbert R. J. Grosch
  - Herman Hollerith
  - J. Presper Eckert
  - J. H. Wilkinson
  - Jay Wright Forrester
  - John Vincent Atanasoff

- John Cocke
- John Sculley
- John Von Neumann
- John W. Mauchly
- Konrad Zuse
- Marvin Lee Minsky
- Maurice V. Wilkes
- Richard M. Karp
- Robert R. Everett
- Steve Jobs
- Thomas J. Watson
- Thomas Watson, Jr.
- William C. Norris
- An'an Wang
- David Sarnoff
- Douglas R. Hofstadter
- Herman H. Goldstine
- J. Richard Buchi
- Kazimierz Kuratowski
- Kurt Godel
- Marian Smoluchowski
- Stefan Banach
- Gordon Bell
- James Gosling
- John McCarthy
- Linus Torvalds
- Mark D. Weiser
- Peter J. Denning
- Peter Norton
- R. Milner
- Seymour Papert
- Alan Curtis Kay
- David Patterson
- Harvey M. Deitel
- Ivar Jacobson
- Jakob Nielsen
- Jim Blinn
- Jim Gray
- Jon Kleinberg
- Kent Beck
- Martin Fowler
- Vannevar Bush
- Edvard Scheutz
- Harry H. Goode
- John R. Pasta
- Blaise Pascal
- Cyril W. Cleverdon
- Gene H. Golub
- Technologies
  - ActionScript
  - ActiveX
  - Ada language
  - Photoshop
  - Ajax
  - AppleScript
  - AutoCAD
  - BASIC
  - Bluetooth
  - Cell Broadband Engine
  - CMOS
  - CORBA
  - Datalog
  - DB2
  - DOS
  - Dreamweaver
  - DVDs
  - Eclipse
  - Ethernet
  - Excel
  - CD-ROMs
  - Facebook
  - Internet Explorer
  - Chrome
  - Firefox
  - Flickr
  - Fortran
  - Google Earth
  - Google
  - Google Maps
  - Google Scholar
  - GSM
  - HDTV
  - HP-UX
  - InfiniBand
  - iPhone
  - iPod
  - IPTV
  - IPv6
  - JavaScript
  - JPEG
  - JSP
  - LAPACK
  - Linux
  - Lotus Notes
  - Macintosh OS
  - Macintosh
  - Mathematica
  - MATLAB
  - Mobile IP
  - WiMAX
  - MODIS
  - MP3
  - MS-DOS
  - MySQL
  - NetWare
  - OpenMP
  - Oracle Database
  - Outlook
  - PDF
  - Pentium
  - PowerPC
  - PowerPoint

- Prolog
- QuarkXPress
- QuickBooks
- Quicken
- QuickTime
- Ruby on Rails
- RISC processors
- Samba
- SharePoint
- Simulink
- Smalltalk
- Short Message Service
- SNMP
- Solaris
- SPARC
- SQL Server
- Secure Sockets Layer
- Transport Layer Security
- Twitter
- UMTS
- Usenet
- UWB
- Visual Basic
- VMware
- VoiceXML
- VRML
- Wifi
- Wikipedia
- Windows
- Windows environment
- WordNet
- X-Window
- X3D
- XILINX
- YouTube
- ZigBee
- FreeBSD
- Myspace
- Office
- Skype
- SONET
- VHDL
- Yahoo! (portal)
- Business Process Execution Language
- ANSI C
- CDMA systems
- DNS (Domain Name System)
- DSL
- DSM
- Gmail
- IP Multimedia Subsystem
- Haskell
- JAVA ME
- MIMO Systems
- MSN (portal)
- OFDM System
- PlanetLab
- Pocket PC
- SELinux
- SIMD architectures
- TMS320C
- Unicode
- TREC
- iPad

## LIITE 2: The Mathematics Subject Classification (MSC) MSC2010

<http://www.ams.org/mathscinet/msc/msc2010.html>

00-XX General

01-XX History and biography [See also the classification number –03 in the other sections]

03-XX Mathematical logic and foundations

05-XX Combinatorics {For finite fields, see 11Txx}

06-XX Order, lattices, ordered algebraic structures [See also 18B35]

08-XX General algebraic systems

11-XX Number theory

12-XX Field theory and polynomials

13-XX Commutative algebra

14-XX Algebraic geometry

15-XX Linear and multilinear algebra; matrix theory

16-XX Associative rings and algebras {For the commutative case, see 13-XX}

17-XX Nonassociative rings and algebras

18-XX Category theory; homological algebra {For commutative rings see 13Dxx, for associative rings 16Exx, for groups 20Jxx, for topological groups and related structures 57Txx; see also 55Nxx and 55Uxx for algebraic topology}

19-XX K-theory [See also 16E20, 18F25]

20-XX Group theory and generalizations

22-XX Topological groups, Lie groups {For transformation groups, see 54H15, 57Sxx, 58-XX. For abstract harmonic analysis, see 43-XX}

26-XX Real functions [See also 54C30]

28-XX Measure and integration {For analysis on manifolds, see 58-XX}

30-XX Functions of a complex variable {For analysis on manifolds, see 58-XX}

31-XX Potential theory {For probabilistic potential theory, see 60J45}

32-XX Several complex variables and analytic spaces {For infinite-dimensional holomorphy, see 46G20, 58B12}

33-XX Special functions (33-XX deals with the properties of functions as functions) {For orthogonal functions, see 42Cxx; for aspects of combinatorics see 05Axx; for number-theoretic aspects see 11-XX; for representation theory see 22Exx}

34-XX Ordinary differential equations

35-XX Partial differential equations

37-XX Dynamical systems and ergodic theory [See also 26A18, 28Dxx, 34Cxx, 34Dxx, 35Bxx, 46Lxx, 58Jxx, 70-XX]

39-XX Difference and functional equations

40-XX Sequences, series, summability

41-XX Approximations and expansions {For all approximation theory in the complex domain, see 30E05 and 30E10; for all trigonometric approximation and interpolation, see 42A10 and 42A15; for numerical approximation, see 65Dxx}

- 42-XX Harmonic analysis on Euclidean spaces
- 43-XX Abstract harmonic analysis {For other analysis on topological and Lie groups, see 22Exx}
- 44-XX Integral transforms, operational calculus {For fractional derivatives and integrals, see 26A33. For Fourier transforms, see 42A38, 42B10. For integral transforms in distribution spaces, see 46F12. For numerical methods, see 65R10}
- 45-XX Integral equations
- 46-XX Functional analysis {For manifolds modeled on topological linear spaces, see 57Nxx, 58Bxx}
- 47-XX Operator theory
- 49-XX Calculus of variations and optimal control; optimization [See also 34H05, 34K35, 65Kxx, 90Cxx, 93-XX]
- 51-XX Geometry {For algebraic geometry, see 14-XX}
- 52-XX Convex and discrete geometry
- 53-XX Differential geometry {For differential topology, see 57Rxx. For foundational questions of differentiable manifolds, see 58Axx}
- 54-XX General topology {For the topology of manifolds of all dimensions, see 57Nxx}
- 55-XX Algebraic topology
- 57-XX Manifolds and cell complexes {For complex manifolds, see 32Qxx}
- 58-XX Global analysis, analysis on manifolds [See also 32Cxx, 32Fxx, 32Wxx, 46-XX, 47Hxx, 53Cxx] {For geometric integration theory, see 49Q15}
- 60-XX Probability theory and stochastic processes {For additional applications, see 11Kxx, 62-XX, 90-XX, 91-XX, 92-XX, 93-XX, 94-XX}
- 62-XX Statistics
- 65-XX Numerical analysis
- 68-XX Computer science {For papers involving machine computations and programs in a specific mathematical area, see Section -04 in that area}
- 70-XX Mechanics of particles and systems {For relativistic mechanics, see 83A05 and 83C10; for statistical mechanics, see 82-XX}
- 74-XX Mechanics of deformable solids
- 76-XX Fluid mechanics {For general continuum mechanics, see 74Axx, or other parts of 74-XX}
- 78-XX Optics, electromagnetic theory {For quantum optics, see 81V80}
- 80-XX Classical thermodynamics, heat transfer {For thermodynamics of solids, see 74A15}
- 81-XX Quantum theory
- 82-XX Statistical mechanics, structure of matter
- 83-XX Relativity and gravitational theory
- 85-XX Astronomy and astrophysics {For celestial mechanics, see 70F15}
- 86-XX Geophysics [See also 76U05, 76V05]
- 90-XX Operations research, mathematical programming
- 91-XX Game theory, economics, social and behavioral sciences
- 92-XX Biology and other natural sciences
- 93-XX Systems theory; control {For optimal control, see 49-XX}
- 94-XX Information and communication, circuits
- 97-XX Mathematics education

The whole list as pdf:

<http://www.ams.org/mathscinet/msc/pdfs/classifications2010.pdf>

Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja  
No. 12/2014

ISBN 978-951-39-6036-0 (verkkokj.)  
ISSN 2323-5004



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO