HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen
4. Silmäys tietojenkäsittelyn ydineknologioihin

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Kurssin sisältö

Lähde: Peter J. Denning: Great Principles of Computing (Communications of the ACM, 46, 11, marraskuu 2003, sivut 15-20).

Luku 1: Historiaa
Luku 2: Kokonaiskuva
Luku 3: Eettiset perusteet
Luku 7: COMPUTING PRACTICES
programming
engineering systems
modeling
innovating
applying

Luku 4: CORE TECHNOLOGIES
architectures
artificial intelligence
databases
operating systems
ETC....
algorithms
networks

GREAT PRINCIPLES OF COMPUTING

Luku 6: DESIGN
simplicity, performance, reliability, evolvability, security

Luku 5: MECHANICS
computation, communication, coordination, automation, recollection

Ydinteknologiat 1950-luvulla

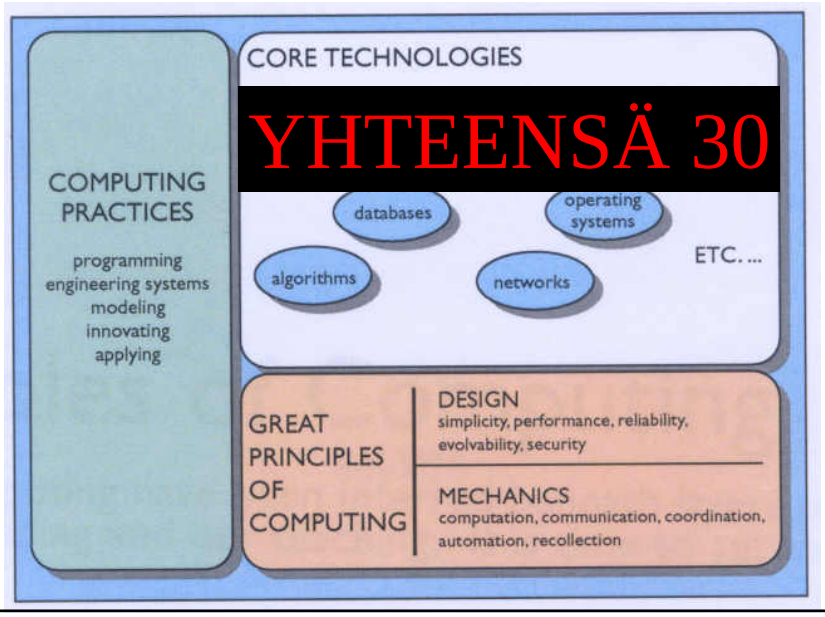
1. algoritmit (*algorithms*)
2. numeeriset menetelmät (*numerical methods*)
3. laskennan mallit (*computation models*)
4. kääntäjät (*compilers*)
5. ohjelmointikielet (*programming languages*)
6. logiikkapiirit (*logic circuits*)

Ydinteknologioita 1990-luvulle tultaessa lisää

7. käyttöjärjestelmät (*operating systems*)
8. tiedonhaku (*information retrieval*)
9. tietokannat (*databases*)
10. tietoverkot (*networks*)
11. tekoäly (*artifical intelligence, AI*)
12. ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus (*human-computer interactions, HCI*)
13. ohjelmistotekniikka (*software engineering*)

Ydinteknologioita 2003

Lähde: Peter J. Denning: Great Principles of Computing (Communications of the ACM, 46, 11, marraskuu 2003, sivut 15-20).



Algoritmit

- Persialainen matemaatikko ja tähtitieteilijä Al-Khwarizmi.
- Äärellinen joukko täsmällisiä, suoritettavissa olevia ohjeita, jotka ohjaavat päättyvää tehtävän suorittamista.
- Tietojenkäsittelyssä algoritmit lopulta suoritetaan tietokoneella.
  - Väliin tarvitaan monta ydinteknologiaa.
- Algoritmitutkimuksessa
  - kehitetään algoritmeja
  - analysoidaan niiden ominaisuuksia

Tekoäly

- Tietokoneohjelman osoittama äly.
- Vaikeasti määriteltävissä.
- Tekoälytutkimuksessa tarkastellaan järjestelmiä, jotka automatisoivat älykästä toimintaa edellyttäviä tehtäviä:
  - ohjaus (*control*),
  - suunnittelu ja ajoitus (*planning and scheduling*)
- Sovellusalueita: puheen tunnistus, asiantuntijajärjestelmät, videopelit, yms.

Kääntäjät

- Ohjelmointikielen kääntäjä on tietokoneohjelma, joka muuntaa ohjelmointikielisen lähdekoodin (*source code*) konekieliseen muotoon (*object code*).
- Käännös on usein kaksivaiheinen:
  - Lähdekoodi välimuotoon
  - Välimuotoinen koodi objektikoodiksi
    - selaaja tunnistaa alkionimet (*token*)
    - jäsennin tunnistaa kielen rakenteet
    - semanttisessa analyysissä tutkitaan mm tietotyyppien käytön oikeellisuus
    - objektikoodin optimointi

Laskennallinen tiede

- Muiden tieteenalojen tutkimusongelmia kuvaavien mallien ratkaisemista tietokoneen avulla.
- Mallien muodostaminen usein yhteistyötä.
- Mallien ratkaisu- ja analysointimenetelmien tutkiminen ja kehittäminen on tietojenkäsittelytieteen tutkimusalue.
- Laskennallinen
  - biologia
  - lääketiede
  - kemia
  - fysiikka
  - tilastotiede
  - jne

Tieteellinen laskenta

- Eri tieteenaloilla käytettävien matemaattisten mallien numeerisia ratkaisumenetelmiä sekä niiden tietokonetoteutuksia.
- Numeerinen analyysi osa tieteellistä laskentaa.
- Usein ”numeronmurskausta” eli pitkiä laskutoimituksia.
- Tieteellinen laskenta – laskennallinen tiede: kietoutuvat usein yhteen.

Tietokoneen rakenne

- Tietokonearkkitehtuuri on tietokoneiden rakenteen suunnittelun taustalla oleva teoria.
  - Laitteiston suunnittelu siten, että laitteisto käyttäytyy ohjelmoijien olettamalla tavalla.
  - Toteutusteknologioiden (esim. puolijohteiden) käyttäminen siten, että laitteisto on ”mahdollisimman hyvä”.
- Mahdollisimman hyvä riippuu suunnittelun tavoitteista:
  - hinta vs nopeus
  - koko, paino, virrankulutus

Tiedon louhinta

- Suurista tietomassoista etsitään kaavaimia (*pattern*), kuten assosiaatiosääntöjä.
- Käytetään laskennallisia tekniikoita esimerkiksi
  - tilastotieteellisiä menetelmiä,
  - tiedon haun menetelmiä,
  - koneoppimisen menetelmiä,
  - hahmontunnistuksen menetelmiä.
- KDD: Knowledge-Discovery in Databases
- Tavoitteena löytää tietomassasta (data) aiemmin tunnistamatonta ja mahdollisesti hyödyllistä tietoa.

Tietoturva (*data security*)

- Tietoturva (*information/data security*) on tiedon luotettavuudelle asetettuja kriteereitä.
  - saatavuus (*availability*)
  - luottamuksellisuus (*confidentiality*)
    - pääsynhallinta (*access control*)
    - salaus (*encryption*)
  - eheys (*integrity*)
    - tarkistussumma (*checksum*)
    - tarkistuskoodi (*cyclic redundancy check, CRC*)
    - digitaalinen (sähköinen) allekirjoitus (*digital signature*)
  - kiistämättömyys (*non-repudiation*)
  - tunnistus (*identification*)
  - todennus (*autenthication*)
- Oikea tieto oikeille ihmisille oikeaan aikaan!

Tietorakenteet (*data structures*)

- Tietorakenteet ovat
  - tapoja, miten tieto talletetaan tietokoneen muistiin ja
  - operaatioita, joiden avulla tietoja päästään käyttämään.
- Tietorakenteiden valinta (suunnittelussa) vaikuttaa olennaisesti tiedonkäsittelyn tehokkuuteen (mm suoritusaika, muistitilan tarve, virhealttius).
- Ohjelmointikielissä on yleensä valmiit ja tehokkaat tietorakenteiden käsittelymahdollisuudet.
- Pino, jono, lista, hajautustaulu, puu, taulukko, …

Tietokannat (*databases*)

- Tietokokoelma, joka muodostaa hallinnollisen kokonaisuuden.
- Tietokannan tietomalli (*data model*) määrää tiedon rakenteen ja käsittelyn (kyselykielet).
- Tietokannoille on tyypillistä tietoriippumattomuus:
  - tietokannoissa tiedon rakenteen kuvaus on erillään ohjelmista
- Tietokannan hallintajärjestelmällä (*database management system, DBMS*) perustetaan tietokanta ja hallitaan sen tietoja.

Sanan transaktio (*transaction*) merkityksiä

- *Transaction processing* tarkoittaa yleensä suomeksi transaktioiden käsittelyä tietokantojen yhteydessä.
- *Event handling* tarkoittaa yleensä suomeksi tapahtumankäsittelyä tapahtumaohjatuissa järjestelmissä, kuten esim. graafisissa käyttöliittymissä.
  - näppäintä painettu
  - hiirtä liikutettu
  - valittu toimenpide
  - ajastin
- Varovaisuutta: *Transaction processing* joskus tapahtumakäsittelyä yms sotkua! Entä keskeytys (*interrupt*)?

Transaktio (*transaction*) tietokantojen yhteydessä

- Transaktioiden käsittelyllä hallitaan mm. tietokannan tietojen samanaikaista käyttöä.
  - Toimintaketjuja, joita ei saa keskeyttää.
- Samanaikaisuuden hallinta takaa transaktioiden jälkeen tietojen oikeellisuuden: ACID-säännöt
  - Atomisuus (*Atomicity*)
  - Oikeellisuus (*Consistency*)
  - Eristys (*Isolation*)
  - Pysyvyys (*Durability*)

Päätöksenteon tukijärjestelmät (*decision support systems, DSS*)

- Ohjelmistoja, jotka tukevat päätöksentekoa organisaatioissa.
  - ei automaattisia päätöksiä
  - vuorovaikutteisia
  - laajentaa käyttäjän kognitiivista päätöksentekokykyä
- *DSS* on käsitteenä laaja
  - Johdon tietojärjestelmät (*management information systems, MIS*)
  - Ylimmän johdon tietojärjestelmät (*executive information systems, EIS*)
- Monitieteistä ja monta tkt:n ydinteknologiaa, esim, tietokannat, käyttöliittymät, tekoäly, visualisointi, …

Hajautettu tietojenkäsittely (*distributed computation*)

- Fyysisesti eri paikoissa verkossa olevien tietokoneiden yhteistoiminta tehtävän suorittamiseksi.
- Käyttäjät ja tietojenkäsittelykapasiteetti yhdistetään läpinäkyvästi, avoimesti ja skaalautuvasti (kun tarvitaan enemmän, niin saadaan vaivattomasti enemmän)
- Tavoitteena parempi resurssien saatavuus, vikasietoisuus (*fault-tolerance*) ja suoritusteho.

Rinnakkaislaskenta (*parallel computation*)

- Tehtävä jaetaan osatehtäviin, joita suoritetaan rinnakkain (samanaikaisesti) usealla suorittimella.
- Tavoitteena nopeampi tehtävän valmistuminen.
- Tavoitteena parempi resurssien saatavuus, vikasietoisuus (*fault-tolerance*) ja suoritusteho.
- Tutkimuskohteita:
  - Laitteistoarkkitehtuurit, erityisesti prosessorien välinen ja prosessorien ja muistien välinen kytkentä.
  - Rinnakkaislaskentaan soveltuvat algoritmit.
  - Säikeiden välinen kommunikointi.

Sähköinen kaupankäynti (*e-commerce*)

- Tuotteiden tai palveluiden jakelu, osto, myynti, markkinointi ja tarjonta tietoverkkojen välityksellä.
- Sähköisen kaupankäynnin järjestelmä on monitieteinen.
- Tarvitaan mm
  - toimiva tietoteknologia,
  - sopivia liiketoimintamalleja ja
  - riittävä tietoturvaan perustuva luottamus.
- Usein tarvittavia toimintoja:
  - Sähköinen varainsiirto (*electronics fund transfer*).
  - Tuotantoketjun hallinta (*supply chain management*).
  - Välitön transaktioiden käsittely (*online transaction processing*).
  - Sähköinen tiedonvaihto (*electric data interchange, EDI*).
  - Automatisoidut varastokirjanpitojärjestelmät.
  - Automatisoidut tiedonkeruujärjestelmät.

Tietokonegrafiikka (*computer graphics*)

- Kattaa visuaalisen tietojenkäsittelyn.
  - Kuvien synteettinen tuottaminen
  - Reaalimaailmasta peräisin olevan visuaalisen informaation ja tilatiedon (*spatial information*) muokkaaminen.
- Joitakin osa-alueita:
  - tosiaikainen kolmiulotteisten kuvien esittäminen (*3-D rendering*),
  - animointi,
  - videosignaalin käsittely,
  - visuaalisten tehosteiden luonti ja muokkaus,
  - kuvan (*image*) muokkaaminen ja mallintaminen.
- Sisältää usein matemaattisia malleja ja laskentaa.

Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus (*human-computer interaction, HCI*)

- Monitieteistä: mm. estetiikka, muotoilu, psykologia, jne
- Tietojenkäsittelytieteessä keskitytään käyttöliittymään (*user interface, UI*).
  - Ohjelmisto.
  - Laitteisto, myös oheislaitteet.
- Tietokoneet ja tietokonejärjestelmät käyttäjäystävällisemmiksi (*user-friendly*) ja helppokäyttöisemmiksi!

Tiedonhaku (*information retrieval*)

- Tiedon – tekstiä, ääntä, kuvaa, dataa – etsimistä (*search*) dokumenteista.
- Dokumenttien etsimistä.
- Dokumentteja kuvaavan tiedon (*metadata*) etsimistä.
- Etsintä tietokannoista ja tietoverkoista.
- Aluksi tieteellisten julkaisuiden sisältämän informaation haun automatisointia.
- Webin hakukoneet nykyisin ehkä yleisimmin käytettyjä sovelluksia.

Luonnollisen kielen käsittely (*natural-language processing*)

- Tekoälyn ja kielitieteen yhteisellä maaperällä.
- Tutkitaan luonnollisen kielen automaattisen tuottamisen ja ymmärtämisen ongelmia.
- Tietokannan tiedoista luonnollista puhetta.
- Puheesta esitysmuoto, jota tietokoneen on helppo käsitellä.

Tietoverkot (*networks*)

- Tietoliikenneyhteyksillä ja tietoliikenneprotokollilla yhteen kytkettyjen tietokoneiden järjestelmä.
- Tutkimusalueita:
  - Tietoliikennelaitteet.
  - Tiedon esitysmuodot.
  - Tietoturva.
  - Tietoliikenneprotokollat.
  - Verkonhallinta (*network management*).
  - Langaton tiedonsiirto (*wireless communication*).
  - Liikkuva tietojenkäsittely (*mobile computing*).

Käyttöjärjestelmät (*operating systems, OS*)

- Ohjelmisto, joka hallinnoi tietokoneen laitteistoa ja ohjelmistoja.
- Käyttöjärjestelmä palvelee muita ohjelmia:
  - Muistin hallinta ja jakaminen (*allocation*).
  - Käskyjen suorituksen järjestäminen (*prioritzing*).
  - Oheislaitteiden hallinta.
  - Tietoliikenteen tukeminen.
  - Tiedostojen hallinta.

Käyttöjärjestelmät

- Huolehtii
  - keskeytyksistä (*interrupts*),
  - ajastimista (*timers*),
  - prosesseista (*processes*) ja säikeistä (*threads*) sekä niiden vuorottamisesta (*scheduling*),
  - samanaikaisuuden hallinnasta (*concurrence control*)
  - samanaikaisesti suoritettavien ohjelmien eristämisestä ja
  - prosessien välisestä kommunikoinnista (*interprocess communication*).

Käyttöjärjestelmät

- Tutkimusalueita ovat mm
  - muistinhallinta (*memory management*),
  - tiedostojärjestelmät (*file systems*),
  - samanaikaisuuden hallinta (*concurrence control*),
  - vikasietoisuus (*fault-tolerance*) ja
  - virrankulutuksen hallinta.

Ohjelmointikielet (*programming languages*)

- Täsmällisesti määritelty tapa antaa tietokoneelle toimintaohjeet.
  - Syntaksi (*syntax*) eli lauseoppi (sanasto ja kielioppisäännöt).
  - Semantiikka (*semantics*) eli merkitysoppi.
- Ohjelmointikielessä määritellään mm. ohjelmoijan käytössä olevat
  - tietotyypit (*data types*),
  - tietorakenteet (*data structures*),
  - lauseet
  - jne
- Tutkimusalueita ovat mm. ohjelmointikielten ominaisuudet ja ohjelmointimallit (paradigmat).

Tosiaikajärjestelmät (*real-time systems*)

- Järjestelmiä – laitteisto ja ohjelmisto – joiden on täytettävä aikavaatimus.
- Tosiaikajärjestelmän ei välttämättä tarvitse olla nopea, mutta tulos on oltava valmis aikarajaan (*deadline*).
- Luokitellaan koviin (*hard*) ja pehmeisiin (*soft*) sen mukaan kuinka ehdottomia aikarajat ovat.
  - Kovan tosiaikajärjestelmän tulos on aina virheellinen, jos aikaraja ylittyy.

Robotiikka (*robots*)

- Robotti on elektro-mekaaninen laite, joka tekee tehtäviä autonomisesti tai ennalta ohjelmoidusti.
- Robotiikassa tarvitaan elektroniikan, mekaniikan ja ohjelmistotekniikan hallintaa.
- Tiettyyn tehtävään soveltuvan robotin kehittämiseen tarvitaan mm
  - havaintoja tekeviä tunnistimia (*sensors*),
  - ohjausalgoritmeja ja
  - robotin mekaanista toimintaa ohjaavat säätimet (*actuators*).

Ohjelmistotekniikka (*software engineering*)

- Ohjelmistojen suunnitteluun, toteuttamiseen ja ylläpitoon kuuluvia tekniikoita ja käytäntöjä.
  - Tietojenkäsittelytieteen ydinteknologioita.
  - Projektinhallintaa (*project management*).
  - Insinööritaitoa (*enginering*).
  - Sovellusalueen tietämystä.
- Ohjelmistotekniikassa kustannukset ja luotettavuus ovat yhtä keskeisiä kuin perinteisimmillä insinööritaidon alueilla.

Ohjelmistotekniikka

- IEEE:n standardi 610.12 määrittelee, että ohjelmistotekniikka on
  - systemaattisen, kurinalaisen ja ilmaistavissa olevan menettelytavan käyttämistä ohjelmiston kehittämisessä, käytössä ja ylläpidossa sekä
  - tällaisten menettelytapojen tutkimista.

Supertietokoneet (*supercomputers*)

- Aikansa laskentateholtaan suorituskykyisimpiä tietokoneita.
- Laskentatehon kasvattaminen on yleensä tapahtunut
  - lisäämällä innovatiivisesti rinnakkaisuutta käskyjen käsittelyssä,
  - huolellisella muistihierarkian suunnittelulla ja
  - prosessorin rakenteen yksityiskohtaisella suunnittelulla.
- Yleensä suunniteltu tietyn tyyppiseen tietojenkäsittelyyn – useimmiten numeeriseen laskentaan.

Virtuaalitodellisuus (*virtual reality*)

- Käyttäjä on vuorovaikutuksessa tietokoneella simuloidun ympäristön kanssa.
  - Simuloitu ympäristö voi olla
    - todellisuuden kaltainen (esim. lentäjäkoulutus) tai
    - todellisuudelle vieras (esim. monet videopelit).
- Simuloidussa ympäristössä on
  - yleensä visuaalisia kokemuksia
    - tavallisella näyttölaitteella tai
    - erityisellä stereoskooppisella näytöllä.
  - usein myös kuvan kanssa synkronoitua ääntä.

Konenäkö (*vision*)

- Tutkitaan, miten tietokone saadaan ”ymmärtämään” kuvien sisältöä.
- Kuvista etsitään tiettyä tarkoitusta palvelevaa informaatiota:
  - Sovelluksia esim.
    - lääketieteessä,
    - laitteen ohjauksessa,
    - laadunvalvonnassa.
- Kehitettävää riittää…tekoälyä, signaalinkäsittelyä, neurobiologiaa, matematiikkaa, fysiikkaa (valon heijastuminen pinnoista), …

Visualisointi (*visualization*)

- Menetelmät, joilla luodaan kuvia, kaavioita tai animaatioita.
- Tavoitteena on parantaa tiedon välittymistä.
- Sovelluksia esim.
  - tieteissä,
  - tekniikassa,
  - tuotekehityksessä ja tuotannossa,
  - opetuksessa ja
  - lääketieteessä.
- Tietokonegrafiikka on visualisoinnin tärkein apuväline.

Työnkulku (*workflow*)

- Organisaation työtehtävien tekemisen järjestäminen tietokonejärjestelmiä apuna käyttäen.
  - Miten työtehtävät järjestetään?
  - Kuka suorittaa minkäkin tehtävän?
  - Missä järjestyksessä työtehtävät on suoritettava?
  - Mitkä ovat tehtävän aloittamisen edellytykset?
  - Miten tietovirrat tukevat tehtävän suorittamista?
  - Miten tehtävien etenemistä seurataan?
- Työnkulun tukijärjestelmissä (*workflow systems*) on usein kaksi osaa:
  - Työnkulun mallintaminen (*workflow modeling component*).
  - Työnkulun seuranta (*workflow execution component, workflow run-time system*)

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen
5. Tietojenkäsittelyn mekaniikat

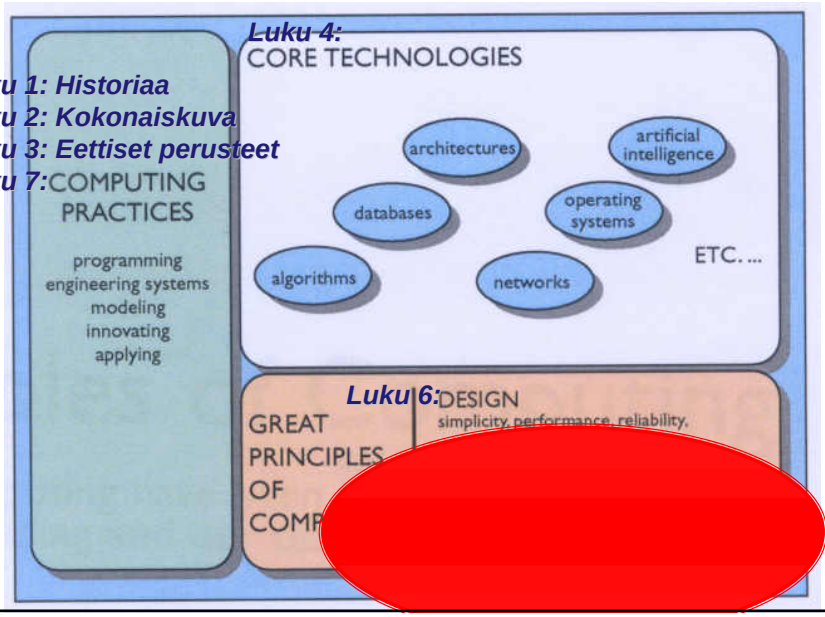
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Kurssin sisältö

Lähde: Peter J. Denning: Great Principles of Computing (Communications of the ACM, 46, 11, marraskuu 2003, sivut 15-20).

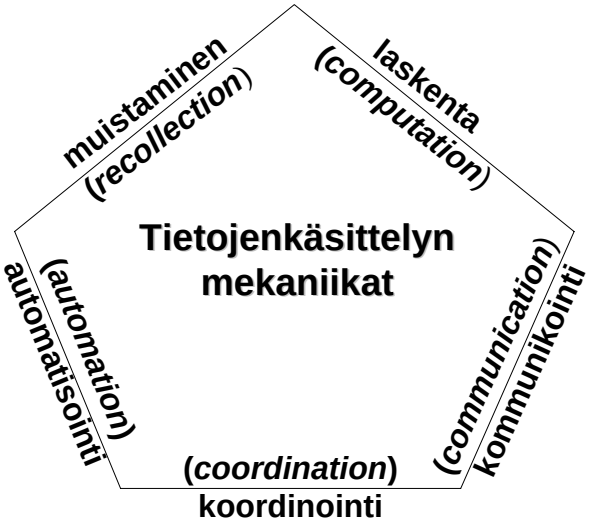
Luku 1: Historiaa
Luku 2: Kokonaiskuva
Luku 3: Eettiset perusteet
Luku 7:



Tietojenkäsittelyn mekaniikat (*mechanics*)

Tietojen-käsittelyn keskeiset periaatteet	Suunnittelun periaatteet
	Tietojenkäsittelyn mekaniikat: Tietojenkäsittelyn rakenteiden ja toiminnan periaatteet: • toimintojen lainalaisuudet ja • yleisesti toistuvat toiminnat.

Viisi näkymää tietojenkäsittelyn mekaniikkoihin



Näkymät lyhyesti

1. Laskenta.
   - Mitä voidaan laskea – laskennan rajat.
2. Kommunikointi.
   - Sanoman tai viestin lähettäminen paikasta toiseen.
3. Koordinointi.
   - Vähintään kaksi toimijaa ja yhteinen tavoite.
4. Automatisointi.
   - Tietokoneella suoritettavat kognitiiviset tehtävät.
5. Muistaminen.
   - Tiedon tallettaminen ja hakeminen.

Näkymät tietojenkäsittelyn mekaniikkoihin koostuvat lukuisista tarinoista

1. Laskennan tarinoita.
   - Algoritmit (*algorithms*)
   - Ohjausrakenteet (*control structures*)
   - Tietorakenteet (*data structures*)
   - Automaatit (*automata*)
   - Turingin koneet (*Turing machines*)
   - Turingin kompleksisuus (*Turing complexity*)
   - Kolmogorovin kompleksisuus (*Kolmogorov complexity*)
   - Predikaattilogiikka (*predicate logic*)
   - Likimääräismenetelmät (*approximations*)
   - Heuristiikat (*heuristics*)
   - Muunnokset (*translations*)

Näkymät tietojenkäsittelyn mekaniikkoihin koostuvat lukuisista tarinoista

2. Kommunikoinnin tarinoita.
   - Tiedonsiirto (*data transmission*)
   - Shannonin entropia (*Shannon entropy*)
   - Tiedon fyysinen esittäminen (*encoding to medium*)
   - Kanavan kapasiteetti (*channel capacity*)
   - Kohinan poisto (*noise suppression*)
   - Tiedon tiivistäminen (*file compression*)
   - Salakirjoitus (*cryptography*)
   - Pakettiverkko (*reconfigurable packet network*)
   - Virheiden havaitseminen ja korjaaminen (*error detection and correction*)

Näkymät tietojenkäsittelyn mekaniikkoihin koostuvat lukuisista tarinoista

3. Koordinoinnin tarinoita.
   - Ihmisten välinen (*human-to-human*)
   - Ihmisen ja tietokoneen välinen (*human-computer*)
   - Tietokoneiden välinen (*computer-computer*)
     - Synkronointi (*synchronization*)
     - Kilpatilanteet (*race*)
     - Lukkiutuminen (*deadlock*)
     - Sarjallistuvuus (*serializability*)
     - Atomiset toimenpiteet (*atomic actions*)

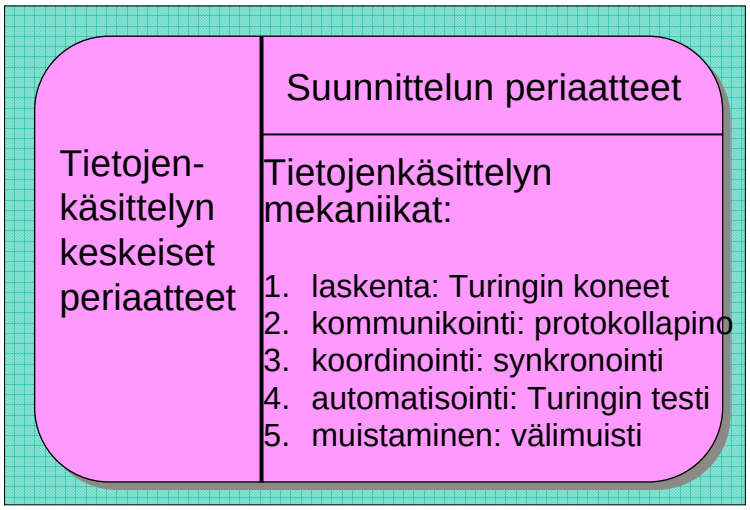
Näkymät tietojenkäsittelyn mekaniikkoihin koostuvat lukuisista tarinoista

4. Automatisoinnin tarinoita.
   - Kognitiivisten tehtävien simulointi (*simulation of cognitive tasks*)
   - Automatisoinnin filosofia (*philosophical distinctions about automation*)
   - Asiantuntemus ja asiantuntijajärjestelmät (*expertise and expert systems*)
   - Älykkyyden lisääminen (*enhancement of intelligence*)
   - Turingin testit (*Turing tests*)
   - Koneoppiminen ja tunnistaminen (*machine learning and recognition*)
   - Bioniikka (*bionics*)

Näkymät tietojenkäsittelyn mekaniikkoihin koostuvat lukuisista tarinoista

5. Muistamisen tarinoita.
   - Muistihierarkiat (*hierarchies of storage*)
   - Viittausten paikallisuus (*locality of reference*)
   - Välimuistit (*caching*)
   - Osoiteavaruudet ja niiden kuvaukset (*address space and mapping*)
   - Nimeäminen (*naming*)
   - Yhteiskäyttö (*sharing*)
   - Haku nimen perusteella (*retrieval by name*)
   - Haku sisällön perusteella (*retrieval by content*)

Viisi tarinaa tietojenkäsittelyn mekaniikoista



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen
5. Tietojenkäsittelyn mekaniikat
5.1 Laskenta: Turingin koneista

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Tietojenkäsittelytieteen laitos

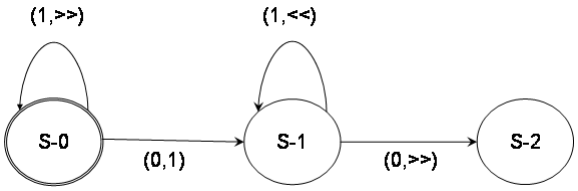
Turingin koneet

- Turingin kone on tietokoneen toiminnan teoreettinen malli.
  - Englantilainen matemaatikko Alan Turing.
  - Ajalta ennen tietokoneita.
  - Taustalla Gödelin epätäydellisyysteoreema vuodelta 1931.
    - Matematiikassa on olemassa lauseita, jotka ovat tosia, mutta niitä ei voi todistaa.
  - Tarkat ohjeet laskentatehtävän mekaaniseksi suorittamiseksi.
- Laskennan rajojen tutkimiseksi.
  - Mitä voidaan algoritmisesti ratkaista.

Turingin koneet

- Turingin kone on tilakone: se on aina yhdessä tiloistaan.
  - Tiloja (*state*) on äärellinen joukko.
  - Peräkkäismuisti on yksiulotteinen (nauha ilman loppua).
  - Aakkosto on äärellinen (usein vain 0 ja 1).
  - toimenpiteet: talletus, luku- ja kirjoituspään siirto (>> tai <<).
- Tilasiirtymät: <nykytila, aakkonen, uusitila, toimenpide>

- Turingin kone: ”Lisää yksi”:



Turingin koneiden laskennallinen voima

- Churchin - Turingin teesi.
  - Ei ole olemassa ongelmaa, joka voitaisiin ratkaista tietokoneella, mutta ei Turingin koneilla.
    - Ei ole pystytty todistamaan.
    - Ei ole kumottu eli ei tunneta vastaesimerkkejä.

Turingin koneet

- Laskettavuuden teoriasta.
  - Turingin koneiden avulla on todistettu, että pysähtymisongelma (*halting problem*) on laskennallisesti ratkeamaton.
    - Ei ole olemassa ohjelmaa, joka pystyisi päättelemään päättyykö vai ei minkä tahansa toisen ohjelman suoritus millä tahansa syötteellä.
  - Turingin todistus perustuu vastaesimerkkiin.

Universaalit Turingin koneet (*universal Turing machines, UTM*)

- Jokainen Turingin kone laskee yhden tietyn laskettavissa olevan funktion arvon.
- Turing osoitti, että on olemassa universaali Turingin kone, joka pystyy simuloimaan minkä tahansa Turingin koneen toiminnan.
  - Universaalia Turingin konetta voi pitää ohjelmoitavana tietokoneena.
- Universaalit Turingin koneet ovat yllättävän ”pieniä”.
  - Pienimmät tunnetut ovat
    - 2 x 18: 2 tilaa 18 aakkosta,
    - 3x10, 4x6, 5x5, 7x4, 10x3, 22x2.

Laskettavuuden rajoja etsimässä

- Mitkä (millaiset) ongelmat ovat todistettavasti algoritmisesti ratkeamattomia?
  - Esiintyy esim. muodollisen päättelyn alueella, mikä on vaikuttanut mm. tekoälyn kehittymiseen.
- Mitkä (millaiset) ongelmat voidaan periaatteessa ratkaista algoritmisesti, mutta laskenta tuloksen saamiseksi kestää niin kauan, että ratkaisu on valmistuttuaan käytännössä hyödytön.
  - Tällaisia hankalia eli NP-täydellisiä (*NP-complete, intractable*) ongelmia on runsaasti esim. tilanteissa, joissa halutaan löytää paras mahdollinen ratkaisu.

Laskennallinen vaativuus

- n on algoritmille annettavan syötteen koko.
- Algoritmin tarvitsema operaatioiden määrä eli aikavaatimus tuloksen laskemiseksi voi olla esimerkiksi O(n log n) eli verrannollinen operaatioiden lukumäärään n log n.
- Jos algoritmin aikavaativuus on $O(e^n)$, niin algoritmin
  - sanotaan olevan skaalautumaton ja
  - laskenta-aika kasvaa eksponentiaalisesti syötteen koon kasvaessa.

Laskennallisen vaativuuden tuntemisen merkityksestä

- Ei kannata tuhlata aikaa algoritmin kirjoittamiseen, jos on todistettu ettei tavoiteltua algoritmia ole olemassa.
- Jos tulee luvanneeksi kirjoittaa pysähtymisongelman ratkaisevan algoritmin, niin jossakin vaiheessa joutuu tunnustamaan ettei osaa.
  - Ammattilainen ei olisi tullut luvanneeksi.
- Tietojenkäsittelyn ammattilaisen tietoihin kuuluu laskennan teorian perusteiden ja perustulosten hallinta ja taitoihin kuuluu laskennan vaativuuden arviointi.

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen
5. Tietojenkäsittelyn mekaniikat
5.2 Kommunikointi: protokollapino

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Tietojenkäsittelytieteen laitos

Viisi tarinaa tietojenkäsittelyn mekaniikoista

ISO:n (*International Standardization Organization*) OSI-malli (*Open Systems Interconnection Reference Model*)

OSI-mallin periaatteita

- Ylempi kerros on lähempänä käyttäjää kuin alempi.
- Kukin kerros käyttää vain välittömästi alemman kerroksen toimintoja ja tarjoaa toimintojaan vain välittömästi ylemmälle kerrokselle. Rajapinnat on täsmällisesti määritelty.

Sovelluskerros

- Sovelluksen vuoropuhelu verkossa.
  - Määritellään viestit: niiden rakenne ja merkitys.
- Sovellustason protokollia ovat mm.
  - sähköposti,
  - uutisryhmät ja
  - Web.

Esitystapakerros

- Sanoman sisällön esitystapa.
- Internet-maailmassa perinteisesti ollut lähes olematon.
  - Jätetty sovelluksen sisäiseksi asiaksi.
- W3C:n (*World Wide Web Consortium*) XML (*eXtensible Markup Language*) on yleistynyt sanoman sisällön esitystapana.

Istuntokerros

- Perustetaan, hallitaan ja lopetetaan yhteys paikallisen ja toisaalla olevan sovelluksen välillä.
- Ei ole tarjottu Internetissä.
- Istuntokerroksen puuttuminen korvattu evästimillä (*cookie*).

Kuljetuskerros

- Sanoman siirtäminen päätepisteiden välillä.
- Internetin keskeiset kuljetusprotokollat ovat
  - TCP (*Transmission Control Protocol*), joka takaa luotettavan tietovuon ja
  - UDP (*User Datagram Protocol*), joka on epäluotettava tietosähke.

Verkkokerros

- Sanomien reititys lähettäjältä vastaanottajalle.
  - Ruuhkanhallinta.
- Internetissä verkkokerroksen keskeisin protokolla on IP (*Internet Protocol*).
  - Ruuhkanhallinta ratkaistu suoraviivaisesti: jos sanomia on liikaa, niin jotkut niistä tuhotaan.

Linkkikerros

- Toiminnat ja menettelytavat tiedon siirtämiseksi verkon kahden pisteen välillä.
  - Virheiden havaitseminen ja mahdollinen korjaus.
  - Muuttumattomat kehykset kuitataan vastaanotetuksi.
  - Rikkoontuneet pyydetään lähettämään uudelleen.

Fyysinen kerros

- Bittien lähettäminen tiedonsiirtokanavaa pitkin.
- Tiedonsiirtolaitteiden sähköiset fyysiset ominaisuudet.
  - Määritellään volttiarvo kummallekin bitille (0 ja 1).
  - Bitin kesto.
  - yms.

DoD-malli (*Department of Defence*) on TCP/IP-pinon perusta

DoD- ja OSI-mallien erot

- DoD-mallista puuttuvat esitystapa- ja istuntokerrokset.
  - Toiminnallisuus toteutetaan jokaisessa sovellustason protokollassa erikseen.
- DoD-mallissa fyysinen ja linkkikerros on yhdistetty verkkoonpääsykerrokseksi.
  - Käytännössä erolla ei ole suurta merkitystä.
  - Toiminnallisuus on yleensä verkkokortilla.