



Internetin tulevaisuudennäkymiä – Semanttinen web ja älykkäät palvelut

Tieteen päivät 2003, esitelmä 11.1.2003,
Helsingin yliopisto, Porthania, P1, 11:45-13:45

Prof. Eero Hyvönen
Helsingin yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos ja
Tietotekniikan tutkimuslaitos (HIIT)
<http://www.cs.helsinki.fi/u/eahyvone/>
eero.hyvonen@cs.helsinki.fi

Internetin tulevaisuuden määrää sen palveluiden hyödyllisyys tavalliselle käyttäjälle. Ensisijaista ei ole jatkossa niinkään verkon tai laitteiden rajoitettuun kapasiteettiin liittyvät ongelmat, kuin palveluiden sisältöjen esittämiseen ja niiden käsittelyyn liittyvät semanttiset kysymykset. Edellytyksenä älykkäiden Internet-palveluiden toteuttamiselle on sisältöjen ja palveluiden esittäminen sellaisessa muodossa, että koneet kykenevät niitä käyttämään. Vasta tämä mahdollistaa aiempaa olennaisesti kehittyneempien palveluiden toteuttamisen ihmiskäyttäjille. Esityksessä käydään läpi tähän visioon perustuvien Semantic Web ja Web Services –alojen keskeisiä ideoita, teknologioita sekä esitellään näiden tärkeimpiä sovellusalueita.

Ihmisten ja koneiden web

Internetiä pidetään tietojenkäsittelyalan tärkeimpänä innovaationa tietokoneen keksimisen jälkeen. Tietoliikenteen määrällä mitaten Internetin tärkein sovellus on World Wide Web (WWW) suurin osa Internetin tietovirrasta liittyy nykyisin webin käyttöön. Internetin tulevaisuudennäkymät ovat viime vuosina olleet melkoisessa vuoristoradassa. Ensin pullistui ”dot-com kupla” lupauksista siitä, miten WWW mullistaa liiketoiminnan perusrakenteet, henkilökohtaisen viestinnän, sähköisen asioinnin ja viihteen tarjonnan uudellaisilla, kaikkialla ja alati saatavilla olevilla palveluilla. Yleisesti uskottu visio kuitenkin haaksirikkoutui vain pari vuotta myöhemmin valtavista taloudellisista panostuksista huolimatta – tai ehkä osin niistä johtuen. Jälkilaskua maksavat mm. Soneran osakkeenomistajat vielä pitkään.

Internet-kuplan puhkeamiselle löytyy monia selityksiä liittyen WWW:n ansaintalogiikoihin, psykologiaan, logistiikkaan, rahoitukseen yms. seikkoihin. Teknologiselta kannalta ongelmat on nähty julkisessa keskustelussa paljolti tietoverkon kapasiteettiin ja tietoturvaan liittyvinä matalan tason kysymyksinä. Kiistellään esimerkiksi kolmannen sukupolven UMTS:n kannattavuudesta ja paremmuudesta GPRS ja WLAN teknologioihin verrattuna, kun mobiilimaailmassakin siirrytään Internetin tehokäyttöön. Oikeaan perusteknologiaan panostaminen on tietysti tärkeää, kuten esimerkiksi Nokian menestys toisen sukupolven GSM-aikakaudelle siirryttäessä 1990-luvulla osoitti. Internetin kehittymisen liikkeelle paneva voima on kuitenkin tavallinen Internetin käyttäjä, joka viimekädessä maksaa laskut ja pitää talouden pyörän liikkeessä. Insinöörien sapelinkalistelu kirjainlyhenteillä on hänelle yhdentekevää, sillä olennainen kysymys kuuluu yksinkertaisesti:

Mitä hyötyä minulle on Internetistä?

Vastauskin on yksinkertainen: verkon aidosti hyödylliset palvelut. ”Hyödyllisessä palvelussa” on kyse siitä, että joku – WWW:n tapauksessa tietokone – tekee puolestamme työtä pienemmällä kustannuksella tai vaivalla kuin jos hoitaisimme saman asian muulla tavoin. Internetin tulevaisuuden teknologinen avainkysymys on, miten aiempaa olennaisesti hyödyllisempiä palveluita voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti.

Kehittyneen palvelun ensimmäisenä edellytyksenä on, että palvelija, tässä kone, ”ymmärtää” mitä se on tekemässä. WWW:n sisällöt kuten HTML-sivut on pääsääntöisesti esitetty tavalla, joka soveltuu niiden tulostamiseen ihmiselle, mutta joiden sisältöä koneiden on vaikea ymmärtää ja käyttää hyödyksi. Web on nerokas järjestelmä tiedon ja dokumenttien välittämiseen ihmisten tulkittavaksi, muttei koneiden käsiteltäväksi sisällöllisessä mielessä. Nykyinen tapamme esittää tietoa webissä muodostaa perustavaa laatua olevan esteen älykkäiden verkkopalveluiden toteuttamiselle.

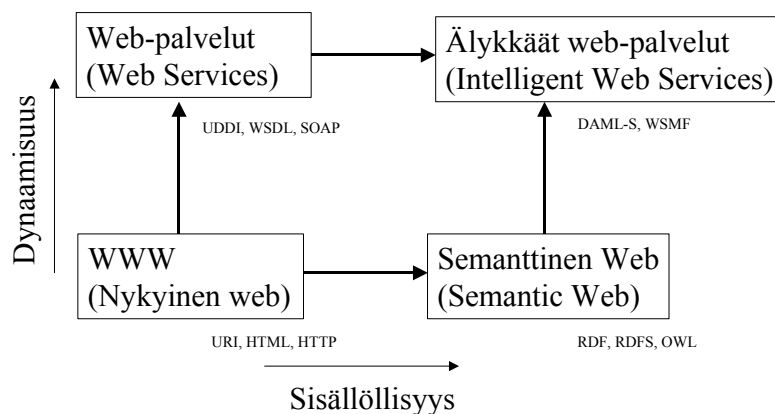
Ongelma on kuitenkin tiedostettu. Semanttinen web, merkitysten Internet, on WWW:n kehitystä koordinoivan kansainvälisen W3C-konsortion visio seuraavan polven älykkästä webistä, jonka käyttäjinä ovat ihmisten ohella koneet. Web Services – web-palvelut – puolestaan on teknologiakehys koneiden käytettävissä olevien palveluiden julkaisemisen ja hyödyntämiseen webissä. Nämä kaksi kehityssuuntaa tulevat jatkossa tukemaan toisiaan ja olemaan keskeinen teknologiaperusta aiempaa olennaisesti hyödyllisempien WWW-palveluiden toteuttamisessa ihmisille.

Älykkäät web-palvelut – Intelligent Web Services

Loppukäyttäjälle tarjottavien palveluiden kannalta Internet näyttäisi olevan kehittymässä kahteen pääsuuntaan. Toisaalta webin sisältö, semantiikka monimuotoistuu ja tulee yhä eksplisiittisemmäksi, joilloin merkitysten käsittely ohjelmallisesti tulee mahdolliseksi. Toisaalta Internet on muuttumassa nykyisestä melko passiivisesta tiedonvälityskanavasta yhä ”dynaamisemmaksi” hajautetuksi laskentaverkoksi. Web Services –idea on tämän kehityssuunnan tunnetuin ilmentymä, mutta muitakin samansuuntaisia kehityskulkuja on olemassa. Esimerkiksi ”grid computing” –alueella vaativat laskentatehtävät, kuten vaikkapa maan ulkoisen älyn etsintä (SETI) radioteleskooppien data-aineistosta, voidaan hajauttaa verkon kautta lukuisille koneille näiden luppoaikana analysoitavaksi. Agenttitekniologioilla (agent technology) voidaan suorittaa tehtäviä itsenäisten verkossa toimivien pikku apulaisten avulla. Termeillä ”pervasive computing”, ”ubiquitous computing” ja ”ambient computing” taas viitataan jatkuvaan, huomaamattomaan yhteydenpitoon kaikkialla läsnä olevaan verkkoon vaikkapa kännykän tai älyvaatteiden avulla. ”Peer-to-peer” (P2P) vertaislaskentatekniikoiden avulla voimme luoda dynaamisesti ad hoc yhteyksiä ja verkkoja toisten toimijoiden kanssa vaikkapa MP3-musiikkitiedostojen vaihtamiseksi.

Kuva 1 havainnollistaa Semantic Web ja Web Services -kehityssuuntien keskinäisiä suhteita ja luettelee joitain avaintekniologioita. Semantic Web ja Web Services -teknologiat ovat syntyneet toisistaan riippumatta ja eri tahojen toimesta, Semantic Web lähinnä W3C:n ja akateemisen maailman toimesta, Web Services taas suurten IT-alan yritysten kehitystyön tuloksena. Nähtävissä on kuitenkin kehityssuuntien

yhdistyminen lähitulevaisuudessa. Web Services –ideassa on toistaiseksi keskitetty vain yksinkertaisen perusvälineistön luomiseen koneellisesti käytettävien palveluiden esittämiseksi, julkaisemiseksi, löytämiseksi ja käyttämiseksi webissä. Palveluiden sisällön (semantiikan) kuvaaminen on jätetty avoimeksi, mihin taas Semantic Web -teknologiat tarjoavat ratkaisumalleja. Toisaalta Semantic Web -konseptista puuttuu Web Service -alueen idea koneellisesti käytettävistä dynaamisista palveluista.



Kuva 1. Internetin megatrendeja (mukaeltu Dieter Fenselin esittämästä kaaviosta). Dynaamisuuden lisääntyminen tekee webistä hajautetun laskennallisen ympäristön Web Services –teknologioiden avulla (esimerkiksi UDDI, WSDL, SOAP). Sisältöjen esittäminen koneen ymmärtämässä muodossa on puolestaan mahdollista semanttisen webin teknologioiden avulla (esimerkiksi RDF, RDFS, OWL). Kehityssuunnat yhdistämällä webin koko potentiaali saadaan hyödynnettyä älykkäinä toiminnallisina web-palveluina.

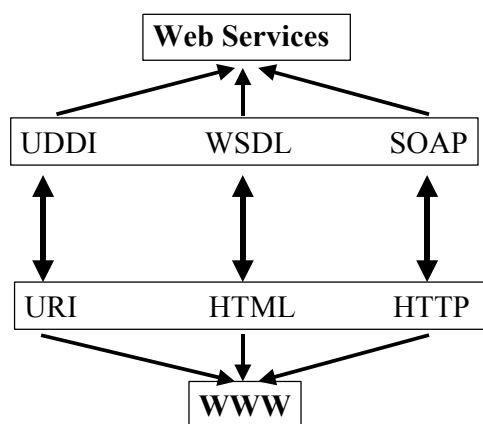
Web Services – web-palvelut

Web Services on Internet-alan kuuma kehityskohde. Tilanteesta ja puhujasta riippuen termillä voidaan tarkoittaa eri asioita:

1. **Palvelukonsepti.** Web-palvelut mahdollistavat uudenlaisia liiketoimintamalleja ja sähköisen asiointin muotoja, joihin voidaan olla yhteydessä verkon kautta erilaisilla päätelaitteilla.
2. **Uusi julkaisumuoto.** Web Services -muodossa voidaan julkaista webissä aktiivisia toimintoja palveluina vastaavaan tapaan kuin nykyään julkaistaan passiivisia web-sivuja ja dokumentteja. Esimerkiksi Google:n hakukonetta voidaan käyttää tällaisen palvelurajapinnan kautta.
3. **Ohjelmistoarkkitehtuuri.** Ohjelmisto voidaan koostaa eri puolilla webiä olevista erillisistä palvelukomponenteista Web Service -rajapintojen kautta.
4. **Ohjelmointitekniikka.** Yksinkertaisimmillaan web-palvelu on vain näppära ohjelmointitekniinen tapa toteuttaa proseduurien etäkutsuja (remote procedure call).

Web Services on jo tänään käytännön tekniikkaa: kaikki suuret alan yritykset ovat kehittäneet/kehittämässä web-palveluille kehysratkaisuja, kuten Microsoftin .NET, HP:n e-speak, SUN:n ONE ja IBM:n e-business. Aluksi yritykset kehittivät toisistaan poikkeavia tekniikoita, mutta nyttemmin de facto -standardeiksi

näyttäisivät muodostuvan UDDI (Universal Description, Discovery, and Integration), jonka avulla palvelut julkaistaan ja löydetään webistä, WSDL (Web Services Description Language), jonka avulla kuvataan palvelun input-output-käyttäytyminen ja SOAP (Simple Object Access Protocol), jonka avulla palvelun kanssa vaihdetaan tietoja XML-muotoisina (Extensible Markup Language) viesteinä. Kuva 2 havainnollistaa näitä teknologioita ja niiden analogisia suhteita nykyisen WWW:n kolmeen tukijalkaan: URI-osoitinmekanismiin, web-sivujen esittämisessä käytettävään HTML-kieleen ja sivujen välityksessä käytettävään HTTP-protokollaan.



Kuva 2. Web Services ja WWW-teknologioiden analogiset vastaavuudet.

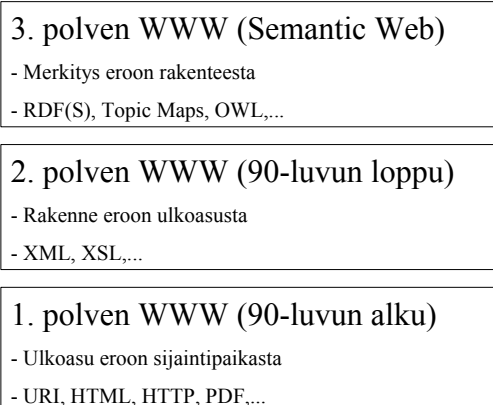
Web Services -teknologia tulee jatkossa olemaan avainasemassa sähköisen kaupankäynnin eri sovelluksissa. Yksi keskeinen sovellusalue on järjestelmäintegraatio, esimerkiksi jo olemassa olevien ohjelmistojen yhdistäminen ja uudelleenkäyttö webin välityksellä. Tekniikka on kuitenkin uutta eikä varsinaisesta läpimurrosta sovellusten osalta voida ainakaan vielä puhua.

Semantic Web – merkitysten Internet

Nykyisen WWW:n tiedot on pääosin kuvattu HTML-kielellä, joka on hypertekstidokumenttien ulkoisen muotoilun kieli. Esimerkiksi merkkiaus `<H1>Semantic Web</H1>` ohjaa selaimen tulostamaan yltason otsikon, muttei ei kerro mitään otsikon merkityksestä ilman ihmisen tulkintaa. Internetin käyttäjinä eivät kuitenkaan ole pelkästään ihmiset, vaan yhä enenevässä määrin koneet, kuten erilaiset sovellusohjelmistot, hakukoneet tai sähköisen kaupan agentit. Niille Internetin rakenteettomien HTML- sisältöjen ja muiden resurssien, esimerkiksi kuvien, videoiden tai musiikkitiedostojen sisällöllinen tulkitseminen ja hyödyntäminen on vaikeaa.

Koneellisen tulkinnan ongelmaa on perinteisesti lähestytty tekoälytutkimuksen keinoin yrittämällä tulkita verkon sisältöjä ihmisen tavoin. Vaikeutena on, että dokumenteissa käytetty kieli on sisällöllisesti monipuolista luonnollista kieltä, jossa voi olla myös puutteita ja virheitä. Ehkä vieläkin hankalampaa on kuvien, äänen ja musiikin, videoiden ja ohjelmistokomponenttien sisällön tulkinta. Semanttisen webin yksinkertaisena ideana on esittää tiedot siten, että niiden sisältöön päästään helpommin algoritmisesti käsiksi. Tämä mahdollistaa aiempaa olennaisesti älykkäämpien palveluiden kehittämisen.

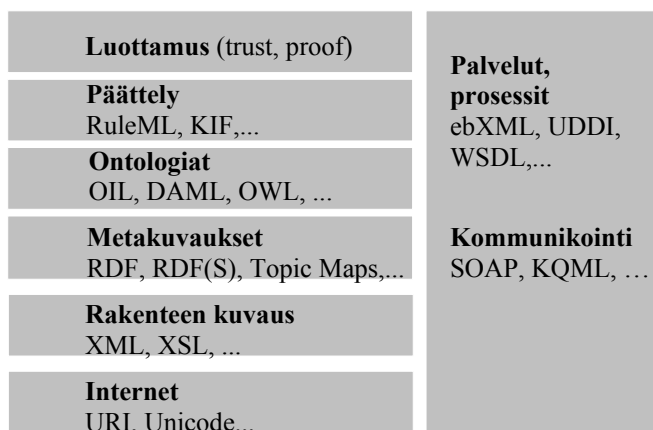
Visio koneiden semanttisesta webistä on merkittävä koko Internetin tulevaisuutta ajatellen; voidaan hyvin puhua WWW:n seuraavasta, kolmannesta sukupolvesta (ks. kuva 3). Tällöin Tim Berners-Leen CERNissä vuonna 1989 ideoima ensimmäisen polven WWW nähdään dokumenttien ilmiäsujen, esim. WWW-sivujen julkaisu ja jakelukanavana. Toisessa polvessa XML mahdollisti 1990-luvun lopulla dokumenttien rakenteellisen (syntaksi) kuvaamisen ja monien ilmiäsujen tuottamisen samasta rakenteesta. Kantavana ajatuksena oli ilmiäsujen erottaminen rakenteesta. Kolmannen polven (semanttisessa) webissä dokumentteihin liittyy myös kuvauksia niiden sisällöstä (semantiikka), mikä mahdollistaa sisältöperustaiset älykkäät palvelut. Vastaavaan tapaan kun XML-murros erottaa tiedon rakenteen, syntaksin, sen ilmiäsusta (HTML-taso), erotetaan semanttinen web –murroksessa merkitys, semantiikka, XML-rakenteesta uusien korkeammantasoisten standardien avulla.



Kuva 3. Webin sukupolvia.

Semantic Web –teknologiat

Visio Semanttisesta webistä on jo konkretisoitunut joukoksi teknologioita, joilla visiota ollaan ryhdytty toteuttamaan (kuva 4). Seuraavassa käsitellään lyhyesti ensin rakenteiden kuvaamista XML-standardeilla. Varsinaiset Semantic Web -kerrokset, kuten metadatan esitys- ja ontologiakielet rakentuvat tämän tason päälle.



Kuva 4. Semantic Web –teknologioita Tim Berners-Leen ns. ”teknologiakakua” mukaillen ja täydentäen. Internetin XML-rakenteiden päälle voidaan lisätä semanttisia metadata-kuvauksia WWW-resurssien sisällöistä. Tässä käytetään hyväksi yhteisesti sovittuja sanastoja ja käsitelmalleja, ontologioita. Kuvausten hyödyntämiseen tarvitaan logiikkaa, mutta pelkkä looginen totuus ei riitä,

vaan sisältöjen pitää lisäksi olla luotettavia (trust). Semanttisen webin eri kerroksia käytetään mm. erilaisissa verkkoon vietävissä palveluissa (Web Services) ja kommunikoinnissa.

Semanttisen Webin välineet perustuvat yleensä XML:ään. XML on standardiperhe, jolla voidaan määritellä sovelluskohtaisia merkkauskieliä tietojen esittämiseksi. Esimerkiksi osoitetiedon esittämiseen voitaisiin määritellä XML-kieli ja esittää osoitteita seuraavaan tapaan:

```
<OSOITE>
  <NIMI>Onni Ohjelmoija</NIMI>
  <PUHELIN> 123 456 </PUHELIN>
</OSOITE>
```

Standardiperheeseen kuuluvien XSL-muunnosten avulla osoitetiedoista voitaisiin automaattisesti tuottaa selaimella luettava normaali HTML-sivu, painettu osoitekirja tms. ulkoinen esitysmuoto. Ideana on dokumentin rakenteen ja ilmiasun erottaminen toisistaan, mikä helpottaa merkittävästi dokumenttien tuottamista ja hallintaa.

XML-merkkaukseen ei sinänsä sisälly mitään semantiikkaa koneen kannalta, vaan merkityksen kielen eri ilmauksille kuten "OSOITE" antaa ihminen. Koneen kannalta yllä oleva osoitetieto on täsmälleen samanarvoinen kuin esimerkiksi kreikkalaisilla merkeillä uudelleen kirjoitettu versio kuvassa 5. XML kuvaa vain tiedon rakenteen, syntaksin, ei merkitystä, semantiikkaa.

```
ϵΧΩΧΤωΣ {
  ϵφΙΦΤ {Χφφ ΧΘωΩ: Υω.κωΥωΗφΤΦΤ {
  ϵΧΑςΕυΤφ { ΘΘΙ ιΚκ ϵΗΧΑςΕυΤφ {
ϵΗΧΩΧΤωΣ {
```

Kuva 5. Onni Ohjelmoijan osoitetietojen XML-kuvaus kreikkalaisilla merkeillä. Syntaksi ei riitä sisällön ymmärtämiseen.

Metadatan esittäminen

Tunnetuin Semanttisen Webin kieli on W3C:n RDF (Resource Description Framework) ja siihen liittyvä laajennus RDF Schema (RDFS). RDF:llä kuvataan WWW:n sisältöjen, resurssien, merkityksiä metadatan, tietona tiedosta. Esimerkiksi kirjastoalan Dublin Core -standardilla voidaan kuvata viidentoista ominaisuuden avulla dokumentteihin liittyvä yleinen metatieto, kuten dokumentin laatija (creator) ja sen aihe (subject). Näin voitaisiin esimerkiksi erottaa Tarja Halosen kirjoittamat dokumentit Tarja Halosta käsittelevistä dokumenteista, mikä parantaisi esimerkiksi hakukoneiden tarkkuutta.

Metadatan kuvaamisessa käytettävä RDF on ytimeltään yksinkertainen relaatiomalli, jossa tieto koostuu joukosta (objekti, ominaisuus, arvo) –kolmikoita. RDF:n syntaksin spesifikaatio perustuu XML:ään, mutta yhtä hyvin voidaan käyttää muunkinlaisia esityskieliä — rakenne ei ole olennaista vaan alla oleva semanttinen relaatiomalli.

RDFS:n avulla määritellään RDF-sovelluksissa käytettävä sanasto. Laajennus tuo ohjelmoinnissa käytetyn olio-ajattelun idean WWW:n merkkauskieliin tarjoamalla käsitteiden kuvaamiseen joukon etukäteen sovittuja perusprimitiivejä. Class, subclass ja type-ilmausten avulla voidaan määritellä käsittehierarkioita samaan tyyliin kuin olio-ohjelmoinnissa.

RDF(S) näyttäisi olevan tulossa laajempaan käyttöön. Esimerkiksi Adobe on uuden XMP-alustan myötä siirtymässä RDF-standardiin kaikissa yhtiön WWW-tuotteissa, kuten laajasti käytetyssä PDF-formaatissa.

Ontologiat ovat käsitehierarkioita

Semanttisen Webin konseptin keskeisimpiä käsitteitä on ontologia (ontology). Käytännössä ontologiat ovat eri sovellusalojen terminologiaa, formaaleja käsitehierarkioita, joissa määritellään alalla käytettävät termit ja käsitteet ja näiden välisiä suhteita. Ontologioita ovat mm. WordNet, joka sisältää yli 100.000 englannin kielen käsitettä, IT- ja elektroniikkateollisuuden RosettaNetin sanastot, CYC ja vireillä oleva IEEE:n SUO (Standard Upper Ontology) standardointihanke ontologisista yläkäsitteistä sopimiseksi. Ontologioiden esityskielten osalta suurimman huomion kohteena ovat olleet eurooppalainen OIL ja amerikkalainen DAML. Näiden yhdistelmästä on kehitteillä W3C:n standardisuositus OWL, ihmisläheinen loogiikkaperustainen käsitehierarkioiden määrittelykieli.

Ontologiatason yläpuolelle ollaan kehittämässä vielä kieliä ja standardeja loogiseen päättelyyn sekä luottamuksen lisäämiseksi WWW:ssä. Esimerkiksi annotointivälineillä voi kommentoida sivuja siten, että toiset käyttäjät voivat paremmin arvioida verkon resurssien luotettavuutta. Digitaalisten allekirjoitusten (digital signature) avulla voidaan vakuuttua kuvausten toimittaneen tahon identiteetistä ja näin arvioida sisältöjen arvoa. P3P on W3C:n suositus, jonka avulla käyttäjät voivat hallita yksityisyyttään suositusta tukevilla WWW-sivustoilla.

Semanttisen webin sovellusalueita

Metakuvausten ja ontologiatekniikoiden tärkeitä sovellusalueita ovat mm. tiedonhaku, tietämyksen hallinta, sekä verkkokauppa ja sähköinen liiketoiminta.

Metakuvausten avulla tiedon täsmähaku helpottuu. Esimerkiksi dmoz Open Directory Project (dmoz.org) kokoaa hajautetusti open source -hengessä hakukoneiden rinnalle koko WWW:n indeksoivaa hierarkista RDF(S) metakuvausta. Tietämyksen hallinnan merkitys liittyy yritysten ja muiden organisaatioiden alati lisääntyvään tarpeeseen hankkia, ylläpitää, löytää ja hyödyntää omaa tietämystään kilpailuedun saamiseksi ja toimintojen tehostamiseksi. Haasteina ovat mm. tietovarastoissa olevien dokumenttien vapaamuotoisuus ja hajautus maapalloistumisen myötä sekä heterogeenisten järjestelmien yhteiskäyttö. Semanttisen webin teknologiat tarjoavat uusia välineitä näiden ongelmien ratkaisemiseen.

Verkkokauppa tarjoaa yrityksille sähköisen jakelu- ja markkinointikanavan, mikä puolestaan mahdollistaa uudentyyppisiä liiketoimintamalleja. Sähköisessä liiketoiminnassa keskeinen kehityskohde on mm. liiketoimintaan liittyvien transaktioiden hallinta. Yksi kehityskohde on tuote- ja palvelukuvaukset ja luettelot sekä näihin liittyvät hakemistopalvelut. Semanttisen webin teknologioilla tulee olemaan yhä tärkeämpi rooli verkkokaupan ja sähköisen liiketoiminnan järjestelmissä. Semanttisen Webin välineet voivat täydentää tuotteiden, palveluiden ja prosessien kuvauksessa Web Service -alueen standardeja, kuten UDDI, WSDL, SOAP ja RosettaNet. Alan taloudellinen merkitys on suuri: esimerkiksi Nokian ilmoituksen mukaan jopa 40% sen alihankintaketjusta olisi siirtynyt käyttämään RosettaNet-standardia vuoden 2002 kuluessa.

Tilanne maailmalla ja Suomessa

Semanttinen Web nousi lehtiotsikoihin, kun W3C käynnisti helmikuussa 2001 Semantic Web Activity –ohjelman. Tammikuussa 2002 perustettiin Web Services Activity. Euroopassa toimii OntoWeb -tutkimusverkosto alan tutkimuslaitosten, yritysten ja tutkijoiden yhteistyötä edistämässä. USA:ssa puolustusministeriön DARPA rahoittaa laajaa DAML-ohjelmaa. Alan tutkijat ovat järjestäytymässä. Kesällä 2002 pidettiin Italiassa alan ensimmäinen varsinaisen konferenssi (International Semantic Web Conference, ISWC) ja aihepiirin oma tieteellinen joutaali alkaa ilmestyä vuonna 2003.

Tietotekniikan tutkimuslaitos HIIT ja Helsingin yliopisto yhteistyökumppaneineen (W3C, Suomen Tekoälyseura ry, XML Finland ry, Elisa Communications, Nokia) järjestivät syksyllä 2002 Semantic Web Kick-Off in Finland -tilaisuuden alan kehitystyön edistämiseksi maassamme. Lokakuun lopussa 2002 Helsingissä pidettiin kaksipäiväinen kansainvälinen seminaari ”XML Finland 2002: Towards the Semantic Web and Web Services”.

Kirjallisuutta

T. Berners-Lee. Weaving the Web. Harper, 1999.

D. Fensel: Ontologies. The Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce. Springer-Verlag, 2001.

E: Hyvönen (ed.): Semantic Web Kick-Off in Finland. Vision, Technologies, Research, and Applications. HIIT Publications 2002-01, HIIT, Helsinki, 2002. Saatavilla vapaasti webistä:

<http://www.cs.helsinki.fi/u/eahyvone/stes/semanticweb/kick-off/proceedings.html>

E: Hyvönen and Mika Klemettinen (ed.): Towards the Semantic Web and Web Services. HIIT Publications 2002-03, HIIT, Helsinki. Saatavilla vapaasti webistä: <http://www.cs.helsinki.fi/u/eahyvone/xmlfinland2002/>

A. Walsh (ed.): UDDI, SOAP, and WSDL. Prentice-Hall, 2002.

WWW-linkkejä:

W3C:n Semantic Web ja Web Services Activity: www.w3.org

Tutkimusmaailman portaali: www.semanticweb.org

EU:n yhteistyöverkosto OntoWeb: www.ontoweb.org

Semantic Web Suomessa: www.cs.helsinki.fi/u/eahyvone/stes/semanticweb