

Sisältöpohjaiset verkot ja palvelut

■ Sasu Tarkoma

Tietoverkkojen, erityisesti Internetin, suosio ja käyttö ovat muuttuneet viimeisen kymmenen vuoden aikana voimakkaasti. Esimerkkeinä uudemmista palveluista voidaan pitää pikaviestimiä, sisällönjakopalveluita ja palveluita, jotka tukevat sosiaalisten verkkojen muodostumista käyttäjien välille. Koska Internet-teknologiat tarjoavat yhteisen protokollan ja toimintatavan, sisältöä voidaan jakaa ja yhdistää globaalisti. Tämä tuo lähes rajattomasti mahdollisuuksia sisältöpohjaisten palveluiden toteuttamiseen, mutta myös lukuisia uusia haasteita koskien esimerkiksi tiedon välitystä sekä esitystä, tietoturva, sisällön käyttöoikeuksia ja liiketoimintamalleja.

Tietoverkot ja Internet-teknologiat ovat keskeisiä nyky-yhteiskunnassa niin hyvien kuin haitalliseksi nähtävien piirteidensä osalta. Tietoliikennetekniikkaa voidaankin pitää viime vuosisadan läpimurtoteknologiana ja keskeisenä perustana tulevaisuuden ratkaisuille. Matkapuhelimien käyttäjiä on maailmassa yli kolme miljardia ja Internetin käyttäjiä kohta puolitoista miljardia. On odotettavissa, että suuri osa tulevaisuuden matkapuhelinten käyttäjistä siirtyy myös Internetin ja sen tarjoamien palveluiden piiriin. Voidaan siis sanoa, että tietoverkot ja erityisesti Internet kasvavat vauhdilla.

Tätä tietoverkkojen kasvua vauhdittavat lisääntyvä sisällön määrä sekä uudet käyttötavat. Sisältö on sitä, mitä tietoliikenneinfrastruktuurin avulla siirretään paikasta toiseen, ja sisältö kattaa laajan kirjoituksen käyttäjiä kiinnostavia asioita sekä vuorovaikutuksia. Perinteisesti puhelinverkolla on välitetty puheluita ja modeemien avulla datayhteyksiä. Viime vuosikymmenten suuri muutos on ollut tietoliikenneinfrastruktuurin digitalisoituminen. Internet-teknologioilla on suuri rooli tässä muutoksessa, koska ne tarjoavat yhteisen protokollan, jonka avulla verkkoa käyttävät laitteet, kuten tietokoneet ja matkapuhelimet, voivat muodostaa yhteyksiä riippumatta

ajasta ja paikasta. Näin on tullut mahdolliseksi monimuotoisen sisällön laajamittainen jakelu ja erilaisten vuorovaikutusten toteuttaminen verkon yli kytkettyjen laitteiden välillä.

Uudet palvelut

Perinteistä sisältöä edustavat puhelut sekä televisio- ja radiolähetykset. On nähtävissä, että suuri osa tästä perinteisestä sisällöstä siirtyy Internetin piiriin. Tästä muutoksesta esimerkkeinä voidaan pitää YouTube-videonjakopalvelua, Skype-Internet-puheluita ja Spotify-musiikin välityspalvelua.

World Wide Web mahdollistaa myös vuorovaikutteisia palveluita. Uusimpia ovat palvelut, jotka yhdistävät sisältöä ja joissa käyttäjät ovat vuorovaikutuksessa paitsi palveluntarjoajan kanssa niin myös keskenään. Esimerkkeinä näistä uudemmista palveluista voidaan pitää pikaviestimiä, sisällönjakopalveluita ja palveluita, jotka tukevat sosiaalisten verkkojen muodostumista käyttäjien välille, esimerkiksi Facebookia ja Twitteriä. Varsinkin Twitter edustaa aivan uudenlaista maailmaa toiminnan reaaliaikaisuuden suhteen.

Uudet vuorovaikutteiset palvelut täydentävät perinteisiä palveluita. Koska Internet-teknologiat tarjoavat yhteisen protokollan ja toimintatavan, sisältöä voidaan jakaa ja yhdistää globaalisti. Tämä tuo lähes rajattomasti mahdollisuuksia sisältöpohjaisten palveluiden toteuttamiseen, mutta myös lukuisia uusia haasteita koskien esimerkiksi tiedon välitystä, esitystä, tietoturva, sisällön käyttöoikeuksia ja liiketoimintamalleja.

Infrastruktuurin kehitys

Internetin perusverkkoinfrastruktuuri on kasvanut ja muuttunut hypyittäin vuosien varrella ja osa alkuperäisistä suunnittelulähtökohdista ei ole enää realistisia. Esimerkiksi ”päästä päähän”-kommunikointi (Saltzer ym. 1984) ja oletus luotettavista verkon käyttäjistä eivät enää vastaa todellisuutta. Käytännössä erilaiset palomuurit

ja muut laitteet estävät ”päästä päähän” -kommunikointia, ja verkon käyttäjiin ei voida luottaa oletusarvoisesti. Nämä osittain Internetin suunnittelulähtökohdista nousevat haasteet ovat synnyttäneet paljon erilaisia ratkaisuja ja ratkaisuideoita sekä tieteellisissä julkaisuissa että standardoinnissa. Standardien kannalta *Internet Engineering Task Force* (IETF) on alan keskeinen foorumi ja lukuisia protokollia on kehitetty ongelmien ratkaisemiseen.

Internetin toiminnan epäkohdat ovat pitkälti tiedossa ja moniin kohtiin on olemassa hyväksi havaittuja ratkaisuita (Tselentis ym. 2009). Näitä on kuitenkin käytännössä vaikea saada laajamittaiseen käyttöön, erityisesti, jos päätelaitteita tai reitittimiä pitää muuttaa. Tästä esimerkkinä voidaan pitää nykyisen Internet-protokollan uusinta IPv6-versiota, jota ei viimeisen kymmenen vuoden aikana ole saatu laajamittaiseen käyttöön siihen kiinnitetystä toiveista huolimatta. Vaikka Internet-palvelut muuttuvat ja kehittyvät nopeasti, globaalin Internetin perusinfrastruktuurin muuttaminen on varsin hidasta.

Tämä perusinfrastruktuurin muutoksen inertia on osaltaan johtanut siihen, että tietoa käsitellään ja reititetään perusverkon yläpuolella. Internetin ”päästä päähän” -suunnittelumalli mahdollistaa, ainakin periaatteessa, kaikkien laitteiden välisen tiedonsiirron. Näin voidaan sijoittaa verkkopalvelu minne tahansa, kunhan se vain löydetään joko verkon osoitteen tai verkotunnuksen avulla. Tämä mahdollistaa myös palvelun hajauttamisen ja tiedon välityksen palveluntarjoajan osapalvelimien välillä. Internetin infrastruktuurin tehokkuuden lisäämiseksi on syntynyt uusia toimintamalleja, kuten sisällön toimitus- ja jakeluverkostot (*Content Distribution Networks*), erilaiset hajautetut palvelualustat sekä vertaisverkot (Buyya ym. 2008).

Sisällön toimitus ja jakelu

Sisällön toimitus- ja jakeluverkostot tarjoavat asiakkailleen tiedontalletusta ja tehokasta globaalia välitystä. Tarkoituksena on taata, että sisältö on aina nopeasti saatavilla, riippumatta ajasta ja paikasta. Tähän on kehitetty lukuisia algoritmeja, jotka pyrkivät ennustamaan sisäl-

lön kysyntää eri puolilla maailmaa ja sijoittamaan sisällön hajautetuille välipalvelimille niin, että tiedonvälityskulut ja saantiaika ovat mahdollisimman pieniä. Palvelinten ja ratkaisuiden energiatehokkuus on myös noussut keskeiseksi teemaksi viimeaikoina.

Palvelualustat, kuten Amazonin ja Googlen ympäristöt, perustuvat kymmenien tai satojen tuhansien tietokoneiden hajautettuihin klustereihin, jotka kommunikoivat Internetin yli. Nämä palvelualustat ovat pitkälti sisältöpohjaisia, esimerkiksi Googlen hakukoneet indeksoivat verkkosivujen sisältöä ja Amazon ylläpitää tietokantaa kirjoista ja käyttäjien kiinnostuksista (DeCandia ym. 2007). Massiivisten tietomäärien kustannustehokas käsittely, tallennus ja hajautus vaativat kuitenkin uusia ratkaisuita.

Vertaisverkot mielletään yleensä verkoiksi, jotka on toteutettu Internetin infrastruktuurin päälle ja joissa verkon osallistujat ovat tasavertaisia, eli ovat samanaikaisesti asiakkaita sekä palvelimia. Nämä verkot ovat pitkälti itseorganisoituvia ja usein desentralisoituja. Keskeisenä ideana vertaisverkoissa, kuten BitTorrentissa, on se, että osallistujat tukevat toisiaan, ja näin voidaan toteuttaa esimerkiksi tehostettu sisällönvälitys osallistujien kesken.

Kohti sisältöpohjaista verkkoa

Näiden esimerkkien pohjalta voidaan siis sanoa, että Internetin päälle on rakentumassa sisältöpohjainen uusi infrastruktuuri (Koponen ym. 2007, Jacobson ym. 2009), jota karakterisoivat hajautetut palvelualustat, sisällön toimitus- ja jakeluverkostot sekä vertaisverkot (Tarkoma 2010). Palvelut voidaan nähdä pilvenä, jossa käyttäjien tarpeet ja sisältö ovat yhä keskeisemmässä roolissa. Käyttäjät itse ovat myös yhä suuremmissa roolissa sisällöntuottajina. Tällöin tarvitaan edullisia tai ilmaisia mekanismeja tiedon välitykseen suurille massoille. Sisällön jakamisen helpottuessa ajankohtainen kysymys on, miten tekijänoikeuksia ja niihin liittyviä asioita valvotaan.

Tällä alueella keskeisiä tutkimuskysymyksiä ovat: millaisia rajapintoja tarvitaan sisältöpohjaiseen toimintaan ja missä suhteessa ne ovat Internetin perusinfrastruktuuriin? Helpoin-

ta olisi rakentaa ratkaisut nykyisen Internetin päälle, mutta tällöin tulee eteen kysymys, kuinka tehokkaita nämä ratkaisut ovat. Nykyinen Internet ja sen rajapinnat painottavat lähettäjän roolia kommunikoinnissa. Lähettäjän roolia korostava kommunikointimalli mahdollistaa erilaiset hyökkäykset verkon laitteita kohtaan. Lisäksi monilla sovelluksilla, esimerkiksi viestintään liittyvillä, on jatkuva tarve tilata tietoa. Nykyinen verkkorajapinta ei tue tätä toimintaa hyvin.

Tämä onkin herättänyt paljon mielenkiintoa vaihtoehtoisten mallien tutkimukseen ja toteuttamiseen. Eräs mielenkiintoinen malli on Publish/Subscribe (Jokela ym. 2009), joka välittää sisältöä sen tuottajien ja tilaajien välillä. Tässä mallissa erikoispiirteenä on tiedon tehokas välitys yhdeltä monelle niin, että tilaajat voivat etukäteen vaikuttaa siihen, mitä tietoa heille saa toimittaa. Mallin ongelmana on sen toteuttaminen Internetin mittakaavassa. Tämä on varsin ajankohtainen tutkimusaihe.

Toinen ajankohtainen tutkimusteema on käyttäjien kiinnostuksen ja kontekstin huomioon ottaminen palveluissa. Kiinnostusten ja kontekstin avulla palvelua ja sisältöä voidaan räätälöidä niin, että se vastaa odotettua käyttötillanetta. Klassisia esimerkkejä ovat suositukset esimerkiksi musiikista tai elokuvista sekä käyttäjän paikkatiedon ottaminen huomioon palvelussa. Paikkatiedon käyttö on arkipäivää monille matkapuhelimien käyttäjille. Sisältöpohjaisessa toiminnassa tarvitaan paitsi uusia tekniikoita kiinnostusten ja kontekstin esittämiseen sekä vertailuun myös uusia tietoturvaratkaisuja. Mitä enemmän palvelut ja verkko tietävät käyttäjistä, sitä enemmän kasvaa riski, että näitä tietoja käytetään väärin. Ratkaisuiden pitää siis ottaa yksilönsuojakysymykset tarpeeksi huomioon. Tämä on ensiarvoisen tärkeää myös mainonnan roolin kasvaessa verkkopalveluissa. Mielenkiintoisen tutkimusalueen muodostaa, mikä on riittävä määrä tietyn palvelun tarvitsemaa tietoa käyttäjästä ja miten tätä tietoa voidaan muuntaa sellaiseen muotoon, joka poistaisi käyttäjän yksilöiviä piirteitä.

Sisällöllä on yhä suurempi merkitys tietoverkoissa, ja viime aikojen kehitys on johtanut

tehokkaisiin ja hajautettuihin sisällön käsittely- ja välitystekniikoihin. Sisältöpohjaisten palveluiden tavoitteet ovat kuitenkin osin ristiriitaiset. Tavoitteena on sisällön välitys miljardeille käyttäjille ja samanaikaisesti räätälöidä sisältö kullekin erikseen tarpeen mukaan. Tarvitaan kehittyneitä protokollia, mekanismeja sekä algoritmeja, jotta tämä olisi mahdollista toteuttaa. Tutkimusalueella on nähtävissä perinteisten tietojenkäsittelytieteen alueiden, kuten tietoliikenteen, tietokantojen, tietoturvan ja käyttäjälähtöisen tutkimuksen, ylitse tapahtuvaa yhteistyötä ratkaisuiden kehittämisessä. Tämä on tarpeen kokonaisvaltaisten ratkaisuiden kehittämiseksi.

Uusin tekninen kehitys liittyy matkapuhelimet palveluiden pilveen ja korostaa käyttäjien välisiä vuorovaikutuksia. Käyttäjät voivat siis olla yhteydessä reaaliajassa ja paitsi kuluttaa niin myös tuottaa tietoa, jota muut seuraavat.

Viitteet

- Buyya R., Pathan M. & Vakali A. (toim.) 2008. *Content Delivery Networks*. Springer.
- DeCandia G., Hastorun D., Jampani M., Kakulapati G., Lakshman A., Pilchin A., Sivasubramanian S., Vosshall P. & Vogels W. 2007. Dynamo: amazon's highly available key-value store. *SIGOPS Oper. Syst. Rev.* 41, 6, s. 205–220.
- ICT SHOK Future Internet Research Agenda. Lokakuu, 2007. Saatavilla www.futureinternet.fi
- Koponen T., Chawla M., Chun B., Ermolinskiy A., Kim K. H., Shenker S. & Stoica I. 2007. A data-oriented (and beyond) network architecture. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 37, 4, s. 181–192.
- Jacobson V., Smetters D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. & Braynard, R. Networking named content. 2009. Proceedings of the 5th ACM International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies (CoNEXT 2009), Rooma, s. 1–12.
- Jokela P., Zahemszky A., Esteve C., Arianfar S. & Nikander P. 2009. LIPSIN: Line Speed Publish/Subscribe Inter-Networking. ACM SIGCOMM -konferenssi.
- Saltzer J. H., Reed D. P. & Clark D. D. 1984. End-to-end arguments in system design. *ACM Trans. Comput. Syst.* 2, 4, s. 277–288.
- Tarkoma S. 2010. *Overlay Networks: Toward Information Networking*. Auerbach.
- Tselentis G., Domingue J., Galis A., Gavras A., Hausheer D., Krco S., Lotz V. & Zahariadis T. (toim.) 2009. *Towards the Future Internet – A European Research Perspective*. IOS Press.

Kirjoittaja on Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen professori. Artikkelin perustuu 2.12.2009 pidettyyn virkaanastujaisluentoon.