hyväksymispäivä arvosana

arvostelija

XML Linking Language: XLink

Pirkka Puustinen

Helsinki 12.4.2002

Hypermediajärjestelmät-seminaari

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen laitos

XML Linking Language: XLink

Pirkka Puustinen

Hypermediajärjestelmät-seminaari
Tietojenkäsittelytieteen laitos
HELSINGIN YLIOPISTO
Helsinki 12.4.2002

Avoimien hypermediajärjestelmien avulla voidaan rakentaa sovelluksia, jotka hyödyntävät hypermedian hyviä puolia. Avoimiin hypermediajärjestelmiin liittyy keskeisenä osana linkkipalvelimet ja linkkitietokannat. XLink on XML-kieli, jonka avulla voidaan kuva linkkitietokantoja.

Avainsanat: XLink, Avoimet hypermediajärjestelmät

Sisällys

1 Johdanto 1
2 Hypermediajärjestelmät 2
2.1 Monoliittiset hypermediajärjestelmät 2
2.2 Asiakas - palvelin hypermediajärjestelmät 2
2.3 Avoimet hypermediajärjestelmät 3
3 Internetissä käytettävät kielet 4
3.1 XPointer ja XPath 6
4 XLink 6
4.1 Laajennetut linkit 8
4.2 Yksinkertaiset linkit 10
4.3 XLink-elementtien attribuutteja 11

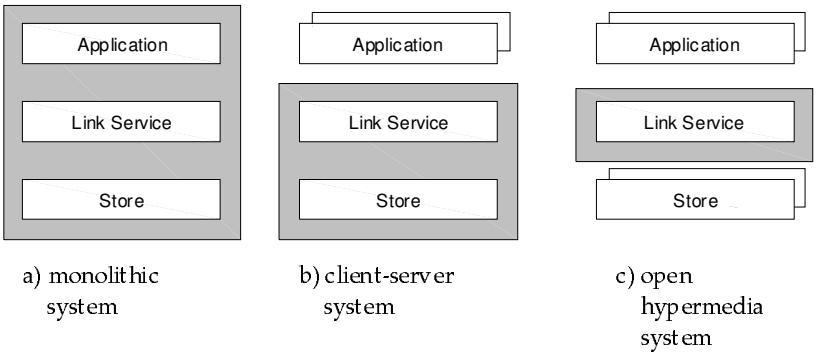
1 Johdanto

Hypermediajärjestelmät eivät rajoitu pelkästään Internetissä käytettäviin sivustoihin ja HTML-kieleen. Hypermediaa voidaan käyttää apuna useissa eri sovelluksissa. Avoimeen hypermediajärjestelmään osallistuva sovelluksen pitää osata käyttää sovelluksien jakamaa linkkitietokantaa. Siinä toimivalla sovelluksella voi olla kokonaan oma dokumenttiformaattinsa. Avoimia hypermediajärjestelmiä voidaan ajatella middlewareksi. Niiden avulla voidaan tuoda hypermedian hyvät puolet suurelle joukolle ohjelmistoja.

Yhtenä keskeisenä osana avoimissa hypermediajärjestelmissä ovat linkkipalvelimet ja linkkitietokannat. Linkkitietokantojen avulla voidaan esitellä solmujen välisiä linkkejä niin, että tietoa linkistä ei tarvitse esittää solmuissa ollenkaan. Linkkitietokannat pidetään yleensä omana dokumenttinaan ja niitä käyttävä sovellus osaa yhdistää niissä esitettävät tiedot muihin dokumentteihin. Linkkitietokannat soveltuvat hyvin tilanteisiin, joissa linkitettäviä dokumentteja on hankalaa tai mahdotonta muuttaa.

XLink on XML-kieli, jonka avulla voidaan kuvata linkitystä. Sen avulla voidaan esittää HTML:n linkkien kaltaisia yksinkertaisia hyperlinkkejä sekä moniulotteisempia linkkejä. Sen avulla voidaan esittää monen yhteenkuuluvan resurssin linkitys. Sitä toivotaan XML:n perustuvien avoimien hypermediajärjestelmien linkkitietokantojen standardiksi kuvauskieleksi.

2 Hypermediajärjestelmät



Kuva 1: Hypermediajärjestelmien kehityksen eri vaiheet[WiN99b].

Hypermediajärjestelmissä käyttäjä selaa tietoa selaimen kautta. Linkkien välityksellä navigoidaan eri dokumenttien välillä tai niiden sisällä.

2.1 Monoliittiset hypermediajärjestelmät

Ensimmäiset hypermediajärjestelmät olivat monoliittisia. Kuvassa 1a näkyy monoliittisen järjestelmän rakenne. Kaikki järjestelmän komponentit: selain, linkkipalvelu ja dokumenttitietokanta, toimivat yhdessä prosessissa. Ne eivät olleet kovin käyttökelpoisia ja niiden puutteet ja rajoitteet tulivat nopeasti esille. Koska niissä ei ollut julkista rajapintaa eikä kommunikointiprotokollaa, niihin tallennettua tietoa käyttääkseen on joutunut käyttämään legacy-sovelluksia. Järjestelmään ulkoapäin linkittäminen sekä järjestelmästä ulospäin linkittäminen ei ollut mahdollista.

Puutteistaan huolimatta jotkut monoliittiset järjestelmät saavuttivat kaupallista menestystä ja niitä on käytetty yrityksissä ja akateemisissa laitoksissa. Koska monoliittisissa järjestelmissä dokumentit talletettiin niiden omassa sisäisessä formaatissaan, dokumenttien tuomiseen järjestelmään sekä niiden muuttamiseen muiden ohjelmien ymmärtämään muotoon meni paljon aikaa [WiN99a, WiN99b].

2.2 Asiakas - palvelin hypermediajärjestelmät

Asiakas – palvelin –mallissa tieto on eristetty omalle palvelimelleen. Kuten kuvassa 1b näkyy, useat sovellukset voivat jakaa palvelimen tarjoamat palvelut. Asiakas –

palvelin –hypermediajärjestelmissä on selkeästi määritellyt ja julkiset rajapinnat sekä kommunikointiprotokollat eri järjestelmän komponenttien välillä.

WWW:ssä selataan HTML-dokumentteja WWW-selaimella. Yleisesti ajateltuna WWW on avoin järjestelmä, koska kuka tahansa voi tehdä WWW-selaimen. Hypermediajärjestelmissä avoimella on hieman eri merkitys. WWW-selaimeen on koodattu tieto, miten HTML-dokumentti pitää näyttää käyttäjälle. Yleisemmin voidaan sanoa, että järjestelmä jossa on ennalta sovittu dokumenttiformaatti on suljettu. Sovellusta, joka avataan näyttämään tiedosto hypermediajärjestelmästä, ei voida pitää hypermediasovelluksena. Se ei tiedä mitään järjestelmästä, joka sen käynnisti. Esimerkiksi PowerPoint tiedosto voidaan avata WWW-selaimen kautta, vaikka ohjelma ei tiedä mitään minkälaisessa yhteydessä sitä käytetään [WiN99b].

2.3 Avoimet hypermediajärjestelmät

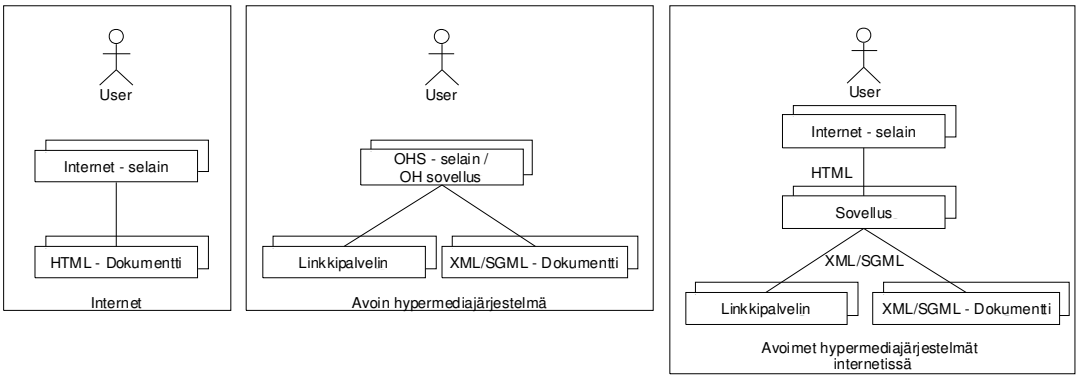
Avointen hypermediajärjestelmien suunnitteluperiaatteina on tarjota yleiset hypermediapalvelut useille eri sovelluksille. Ne voidaan jossain määrin luokitella middlewareksi [OER98, WiN99b]. Molemmat tarjoavat palveluja suurelle joukolle sovelluksia, niitä voidaan käyttää eri laitealustoilla, ovat hajautettuja ja molemmissa on julkiset kommunikointiprotokollat ja rajapinnat.

Avoimia hypermediajärjestelmiä on toteutettu eri lähtökohdista käsin, joten ne eivät ole keskenään samanlaisia. Yhteisenä kaikissa järjestelmissä mahdollisuus luoda ja poistaa *ankkureita* (eli dokumentteja, kuvia ja muita resursseja) ja linkkejä sekä *navigoida* linkkien välillä. Toisin kuin Internetissä, jossa hypermediaa käyttää ainoastaan WWW-selain, voi avoimissa hypermediajärjestelmissä olla rajaton määrän hypermediapalvelujen käyttöön osallistuvia sovelluksia. Yhteistä on myös se, että ne tarjoavat eri sovelluksille mahdollisuuden käyttää omia dokumenttiformaattejaan [WiN99b]. Avoimeen hypermediajärjestelmään osallistuvan ohjelman pitää osata käyttää linkkitietokantaa, jonka avulla sovelluksesta voidaan linkittää toisiin dokumentteihin.

HTML-dokumentissakaan ei kannata säilyttää kaikkia siihen liittyviä linkkejä. Jos WWW-sivuston jokaisella sivulla pidetään sivustohierarkian navigointitietoa, muutosten tekeminen yli kymmeneen HTML-sivuun on jo hankalaa ja aikavievää.

Ulkoisiksi linkeiksi (external link, third party link, out of line link) sanotaan sellaisia linkkejä, jotka voidaan esitellä erillään niiden linkittämistä ankkureista. Ulkoisten linkkien kokoelmaa sanotaan *linkkitietokannaksi*. Avoimissa hypermediajärjestelmissä linkkitietokantoja pidetään tärkeänä osana niiden toimintaa. Linkkitietokanta on usein omana dokumenttinaan [OER98]. Ne sopivat hyvin tilanteisiin, jossa osallistuvat resurssit ovat joko vain lukukelpoisia tai niiden päivittäminen olisi hankalaa [DMO01].

Kuvassa 2 näkyy miten linkkitietokantaa voidaan käyttää HTML-selaimella. Samalla kun dokumentti muutetaan HTML:ksi (tai vaikka wapissa käytettäväksi xml:ksi) siihen voidaan liittää linkkitietokannan tiedot.



Kuva 2: Avoimet hypermediasovellukset Internetissä.

3 Internetissä käytettävät kielet

Käytössä on useita yleisiä hypertekstiformaatteja. Niistä jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa. HTML:n perustuvat hypermediajärjestelmät eivät sovellu monimutkaisempien hypermediasovellusten tekemiseen [OER98]. Taulukossa 1 näkyy eri kielten suhteet toisiinsa.

	HTML family	XML family	SGML family
Markup	HTML	XML defined	SGML defined
Hyperlink	HTML	XLink + XPointer	HyTime, TEI
Style and presentation	CSS	XSL	DSSSL

Taulukko 1: Internetissä käytössä olevat rakenteisten dokumenttien standardit [OER98].

HTML:ää on arvosteltu sekä SGML- että hypertekstiyhteisöjen osalta. Sitä voi käyttää ainoastaan dokumentin ulkonäön kuvaamiseen, se ei kerro mitään dokumentin sisällöstä. Dokumentin rakenne hämärtyy ulkonäön kuvaamisessa apuna käytettävien HTML-elementtien kanssa. CSS-tyylikirjastojen käyttäminen on ratkaissut vain osan ongelmista [OER98].

SGML ei sido käytettävää merkintätapaa. Se sallii käyttäjän itse määrittämät elementtityypit, joten sovellukset voivat käyttää juuri niille sopivaa dokumenttiformaattia. Kieleen perustuvat järjestelmät eivät kärsi HTML:n rajoituksista, mutta ne ovat monimutkaisempia ja kalliimpia toteuttaa. Jokaiselle SGML:ää käyttävälle sovellukselle pitää tehdä oma formaalisti määritelty tyyppitiedostonsa (DTD, document type definition). SGML:ä esitetyt dokumentit pitää vielä erikseen esittää käyttäjälle.

XML yhdistää HTML:n ja SGML:n hyvät puolet. Se on yksinkertaistettu versio SGML:stä. XML:ää suunniteltaessa monet SGML:n vähän tarvitut ominaisuudet on jätetty pois ja toisin kuin SGML:ssä, DTD:n käyttö ei ole pakollista [OER98].

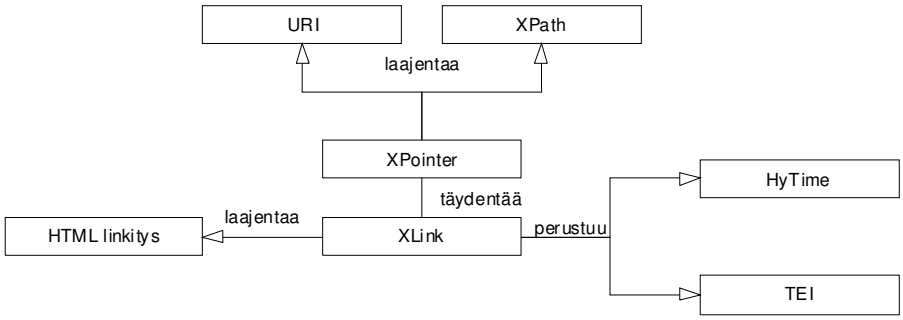
Samalla kun SGML-yhteisö arvostelee HTML:ää sen huonon merkintätavan takia, muu hypertekstiyhteisö on arvostellut sitä sen huonon linkityksen takia, mm linkkitietokannat eivät kuulu HTML-kieleen. Osa HTML:n heikkouksista on kierretty appleteilla, Javascriptillä ja proxy-palvelimilla [Der99a].

SGML:ää käyttävissä avoimissa hypermediajärjestelmissä on kaksi eri tapaa kuvata kehittyneitä linkkejä, HyTime ja TEI. XML-kielessä XLink on standardi tapa esittää linkkejä. Se mahdollistaa sekä linkkitietokannat että HTML:n a-elementin kaltaiset hypertekstilinkit [OER98].

3.1 XPointer ja XPath

XPath ja XPointer eivät ole XML-kieliä vaikka ne XML:ään liittyvätkin. XPath kielellä voidaan osoittaa mikä tahansa elementti, attribuutti tai muu solmukohta HTML, SGML tai XML-dokumentista. Sitä käytettään mm XSL-tyylitiedostoissa. XPointer on XPathin laajennus. Sen pääasiallinen laajennus on, että sillä voidaan osoittaa valinta dokumentista.

Jos HTML-dokumentin sisälle halutaan viitata URI:llä, pitää jo dokumentin luontivaiheessa tehdä dokumenttiin ankkureita. XPointerilla ei tällaista rajoitetta ole. XPointer siis lisää URI:llä osoitettavien resurssien määrää ja tekee sen tarkemmaksi [Der99a, OER98].



Kuva 3: XLink-kielen suhde muihin standardeihin

4 XLink

XLink-kielellä kuvataan eri resurssien välisiä linkkejä. Kuvassa 3 näkyy XLinkin suhde muihin olemassa oleviin standardeihin. Sillä voidaan kuvata HTML:n kaltaisia yksisuuntaisia, (ihmis)käyttäjille esitettäväksi tarkoitettuja *hyperlinkkejä* sekä monimutkaisempia linkkirakenteita. Yksi XLink-linkki ilmoitetaan yhdellä XLink elementillä XML-tiedostossa.

XLink ei ole uutta tekniikkaa: HyTime on vastaava kieli SGML:lle. Se onkin saanut paljon vaikutteita olemassa olevista järjestelmistä. Sitä toivotaan standardiksi, avoimien hypermediajärjestelmien linkkipalvelimille [OER98].

XLinkissä *linkki* (link) sitoo mielivaltaisen joukon resursseja. Linkki voi sitoa tasan kaksi resurssia, yhden resurssin useampaan tai monta resurssia moneen resurssiin. Linkillä voi olla vähemmän kuin kaksi osanottajaa. Linkki, johon osallistuu vain yksi resurssi, voi liittää siihen vaikka halutun ominaisuuden (properties). Linkki, jolla ei ole yhtään osallistujaa voi toimia paikannäyttäjänä tulevaisuudessa lisättäville resursseille. XLink elementin tyyppi ilmoitetaan XLink nimiavaruudessa olevalla `type`-attribuutilla. XLink-elementissä voidaan myös ilmoittaa linkkiä kuvaavaa metadataa.

XLink kielessä *resurssi* (resource) on mikä tahansa URI-viittauksella osoitettava tieto tai palvelu. Resurssi voi olla tiedosto, kuva, ohjelma, kyselyn tulos tai osa dokumentista. Se voi myös olla XML-dokumentin joku tietty elementti. Resurssi paikannetaan URI:llä, joka voi sisältää XPointer-lauseen. Muissa yhteyksissä käytetty a*nkkurin* (anchor) voidaan samastaa XLinkin resurssiin.

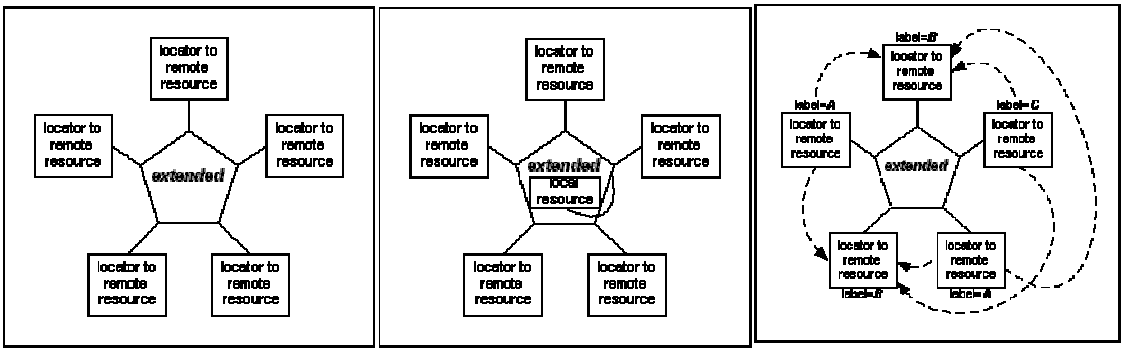
Kieleen kuuluu ilmaisukeino, miten XML-dokumentissa voidaan ilmoittaa XLinkkiä käyttävälle sovellukselle mahdollisesti tarpeellisista linkkitietokannoista [DMO01].

Isä-elementti [XLink tyyppi]	**Merkittävät lapsielementit [XLink tyyppi]**
yksinkertainen linkki [simple]	-
laajennettu linkki [extended]	paikallinen resurssi [recource], ulkoinen resurssi [locator], kaari [arc], otsikko [title]
ulkoinen resurssi [locator]	otsikko [title]
kaari [arc]	otsikko [title]
paikallinen resurssi [resource]	-
otsikko [title]	-

Taulukko 2: XLink elementit ja niiden suhteet [DMO01].

4.1 Laajennetut linkit

Laajennettu linkki sitoo mielivaltaisen joukon resursseja. Yleensä laajennetut linkit sijoitetaan linkkitietokantaan. Kuvan 4 linkki sitoo yhteen viisi eri resurssia. Ne voisivat olla viisi eri tiedostoa tai linkki voisi linkittää yhteen opiskelijan kursseille osallistumisen, yksi linkki kertoo oppilaan kotisivun ja muut kursseille osallistumistietoa. Laajennettu linkki on tyypiltään ”extended” ja siihen osallistuvat resurssit ja kaaret ilmoitetaan lapsi-elementteinä, kuten taulukossa 2 näkyy.



Kuva 4: Laajennettu linkki. Kuva 5: Paikallinen resurssi. Kuva 6: Kaaret kuvaavat etenemisen [DMO01].

Paikallinen resurssi (local recource) on linkkiin osallistuva XLink-elementti, joka kertoo linkin lähtevän itsestään. Sitä voitaisiin ajatella Javan this-osoittimeksi. Paikallinen resurssi on tyypiltään ”resource”. Kuva 5 voisi esittää samaa oppilasta niin, että paikallisesti on ilmoitettu suoritettujen kurssien keskiarvo. DTD esittely voisi näyttää seuraavalta:

```
<!ELEMENT gpa ANY>
<!ATTLIST gpa
  xlink:type      (resource)      #FIXED "resource"
  xlink:role      CDATA           #FIXED "http://www.example.com/linkprops/gpa"
  xlink:title     CDATA           #IMPLIED
  xlink:label     NMTOKEN         #IMPLIED>
```

DTD:tä käyttävä XLink-elementti voisi olla seuraavanlainen.

```
<gpa xlink:label=”PatJonesGPA”>3.5</gpa>
```

Ulkoinen resurssi (remote resource) on mikä tahansa linkkiin osallistuva resurssi, mikä osoitetaan URI-viittauksella. Se voi olla samassa XML-dokumentissa, missä linkkikin on tai jopa samassa elementissä. Sen tyyppi on ”locator.” Sen DTD esittely voisi näyttää seuraavalta:

```
<!ELEMENT person EMPTY>
```

```
<!ATTLIST person
  xlink:type      (locator)       #FIXED "locator"
  xlink:href      CDATA           #REQUIRED
  xlink:role      CDATA           #IMPLIED
  xlink:title     CDATA           #IMPLIED
  xlink:label     NMTOKEN         #IMPLIED>
```

DTD:tä käyttävä elementti voisi olla seuraavankaltainen.

```
<person
  xlink:href="students/patjones62.xml"
  xlink:label="student62"
  xlink:role="http://www.example.com/linkprops/student"
xlink:title="Pat Jones" />
```

Linkki kertoo, että yhdellä tai useammalla resurssilla on yhteys toisiinsa. *Kaari* (arc) kertoo etenemisen suunnan linkissä kahden resurssin välillä. Kuvien 5 ja 6 linkeillä ei ole suuntaa, ne ilmoitetaan kaarilla. Kaari kuvaa *aloitus-* ja *lopetusresurssit* ja eteneminen linkissä (traversal) tapahtuu kaaren aloituksesta lopetukseen. Jos yhdessä linkissä on kaksi kaarta kahden resurssin välillä ja niiden aloitus- ja lopetuspää vaihtavat paikkaa, linkki on *kaksisuuntainen* (A->B ja B->A <=> A<->B). Yhdessä laajennetussa linkissä ei saa olla kahta samaa kaarta, eli kaarta jossa on samat aloitus ja lopetuspisteet.

Ulospäin suuntautuva kaari(outbound arc) alkaa paikallisesta resurssista ja päättyy ulkoiseen resurssiin. *Sisään päin suuntautuvalla kaarella* (inbound arc) on ulkoinen aloitusresurssi ja lopetusresurssi on paikallinen. Kaaren DTD voisi olla seuraavanlainen:

```
<!ELEMENT go EMPTY>
<!ATTLIST go
  xlink:type      (arc)           #FIXED "arc"
  xlink:arcrole   CDATA           #IMPLIED
  xlink:title     CDATA           #IMPLIED
  xlink:show      (new
                  |replace
                  |embed
                  |other
                  |none)          #IMPLIED
  xlink:actuate   (onLoad
                  |onRequest
                  |other
                  |none)          #IMPLIED
  xlink:from      NMTOKEN         #IMPLIED
  xlink:to        NMTOKEN         #IMPLIED>
```

Sitä käyttävä elementti voisi olla seuraava:

```
<go
  xlink:from="CS-101"
  xlink:arcrole="http://www.example.com/linkprops/auditor"
  xlink:to="student62"
  xlink:show="replace"
  xlink:actuate="onRequest"
```

```
  xlink:title="Pat Jones, auditing the course" />
```

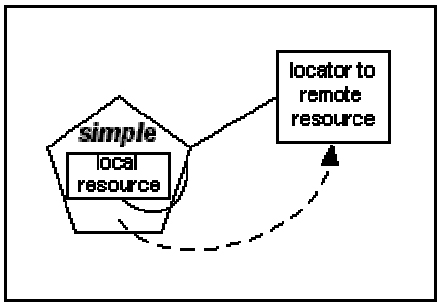
Yhdellä elementillä voidaan ilmaista useampia kaaria. Seuraavat kaksi elementtiä kertovat liikkumisen kuvan 6 linkkien välillä.

```
<go xlink:type="arc" xlink:from="A" xlink:to="B" />
<go xlink:type="arc" xlink:from="C" xlink:to="B" />
```

Otsikko-elementillä voidaan ilmoittaa ihmiskäyttäjälle suunnattua navigoinnissa tarvittavaa tietoa. Sen suunnittelun lähtökohtana on ollut monikielisyyden tukeminen. Sama linkki voidaan näyttää erilaisena eri kielillä [DMO01].

4.2 Yksinkertaiset linkit

Yksinkertainen linkki on lyhennetty versio laajennetun linkin erikoistapauksesta. Kuten kuvasta 6 näkee, yksinkertainen linkki sitoo yhden paikallisen resurssin ja yhden ulkopuolisen resurssin sekä paikallisesta ulkopuoliseen resurssiin etenevän kaaren. Se vastaa HTML:n a – elementtiä.



Kuva x: yksinkertainen XLink-linkki [DMO01].

Yksinkertainen linkki esitettynä laajennettu versio esitettynä laajennettuna linkkinä voisi olla seuraavan kaltainen:

```
<studentlink xlink:type="extended">
  <resource
    xlink:type="resource"
    xlink:label="local">Pat Jones</resource>
  <locator
    xlink:type="locator"
    xlink:href="..."
    xlink:label="remote"
    xlink:role="..."
    xlink:title="..." />

  <go
    xlink:type="arc"
    xlink:from="local"
    xlink:to="remote"
    xlink:arcrole="..."
    xlink:show="..."
    xlink:actuate="..." />
</studentlink>
```

Yksinkertaisen linkin DTD-esittely voisi olla seuraavan kaltainen:

```
<!ELEMENT studentlink ANY>
```

```
<!ATTLIST studentlink
  xlink:type      (simple)        #FIXED "simple"
  xlink:href      CDATA           #IMPLIED
  xlink:role      NMTOKEN         #FIXED "http://www.example.com/linkprops/student"
  xlink:arcrole   CDATA           #IMPLIED
  xlink:title     CDATA           #IMPLIED
  xlink:show      (new
                  |replace
                  |embed
                  |other
                  |none)          #IMPLIED
  xlink:actuate   (onLoad
                  |onRequest
                  |other
                  |none)          #IMPLIED>
```

Seuraava dokumentin osa sisältää edellisessä DTD-esittelyssä esitellyn yksinkertaisen XLink-linkin [DMO01].

```
..., and <studentlink xlink:href="students/patjones62.xml">Pat Jones</studentlink> is popular around
the student union.
```

4.3 XLink-elementtien attribuutteja

Laajennetun- ja yksinkertaisen linkin sekä paikallisen- ja ulkoisen resurssin elementissä voidaan ilmoittaa role-attribuutti. Kaaressa ja yksinkertaisessa linkissä voidaan käyttää arcrole-attribuuttia. Molemmat ovat URI:tä, jotka osoittavat elementin tarkoituksen kuvaavaan resurssiin.

Linkkien käyttäytymiseen vaikuttavia attribuutteja ovat show ja actuate. Niitä voidaan käyttää yksinkertaisien linkkien ja kaarien kanssa. Show-attribuutti kuvaa miten XLinkkiä käyttävän sovelluksen tulisi käsitellä kyseistä linkkiä. Arvosta riippuu avataanko hyperlinkki samaan ikkunaan vai pitäisikö sille avata oma selain. Linkki voidaan myös sisällyttää (embed) dokumenttiin. Tämä vastaa HTML:n img-elementtiä.

Actuate-attribuutilla kerrotaan sovellukselle milloin linkkiä pitäisi käyttää. Linkki voidaan toteuttaa latauksen yhteydessä tai vasta pyydettäessä [DMO01].

Lähteet

Der99a DeRose, S., J., XML Linking, *ACM Computing Surveys, Vol 31, Number 4es*, ACM Press, New York, December, 1999. http://doi.acm.org/10.1145/345966.346015 [14.3.2002]

Der99b DeRose, S., J., XML XLink Requirements Version 1.0, W3C Note, http://www.w3.org/TR/1999/NOTE-xlink-req-19990224. [14.3.2002]

DMO01 DeRose, S., Maler, E., Orchard, D., XML Linking Language (XLink) Version 1.0, W3C Recommendation, http://www.w3.org/TR/2001/REC-xlink-20010627, 2001. [14.3.2002]

OER98 van Ossenbruggen, J., Eliëns, A., Rutledge, L., The Role of XML in Open Hypermedia Systems, *Proceedings of the 4th Workshop on Open Hypermedia Systems, June 19-20, 1998, Hypertext '98,* Pittsburgh, 1998, http://aue.auc.dk/~kock/OHS-HT98/Papers/ossenbruggen.html [14.3.2002]

WiL96 Wiil, U., Legget, J., The HyperDisco Approach to Open Hypermedia Systems, Proceedings of Hypertext'96, sivut 140-148 ACM Press, 1996. http://citeseer.nj.nec.com/wiil96hyperdisco.html [4.4.2002]

WiN99a Wiil, U., Nürnberg, P., Hypermedia research directions: an infrastructure perspective, *ACM Computing surveys, Vol 31, Issue 4es*, ACM Press, New York, December, 1999.

WiN99b Wiil, U., Nürnberg, P., Evolving Hypermedia Middleware Services: Lessons and Observations, *Proceedings of the 1999 ACM Symposium on Applied Computing*, San Antonio, Texas, February 1999, ACM Press, New York, 1999, sivut 427-436. http://citeseer.nj.nec.com/wiil99evolving.html [3.4.2002]