

Teknillinen Korkeakoulu
Teletekniikan laboratorio

S-38.126 Teletekniikan erikoistyö I

Internet topologia

Ohjaaja: Mika Ilvesmäki

Palautettu: 29.8.1997

Karri Virkajärvi
Uudenkaupungintie 5 E 47
00350 Helsinki
P. koti (09) 34 02 707
P. työ (09) 3481 2390
NMT 0400 941 604
Email: karriv@cc.hut.fi

Internet topologia

Karri Virkajärvi

Tutkimuksessa käsitellään Internetin fyysistä ja loogista topologiaa. Tutkimuksen tavoitteena on luoda Internetistä kartta ja tuottaa Internetin kartoitukseen työkaluja ja -menetelmiä. Topologiaa selvitetään traceroute-ohjelman avulla. Traceroute-ohjelmaa käytetään selvittämään IP-pakettien reittejä isännästä johonkin IP-kohteeseen.

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin, kartta valmistui ja sivutuotteena syntyi ohjelma reititintietojen tallettamiseen ja kartan tulostamiseen. Kartassa on mukana noin 130 reititintä ja noin 180 linkkiä.

Tulevaisuudessa vastaavaa työtä kannattaisi yrittää automatisoida laatimalla järjestelmä joka itse hoitaisi reititin- ja linkkitietojen keräämisen. Reitittimien paikkatieto lienee tulevaisuudessa helposti saatavilla DNS-järjestelmästä.

Sisällysluettelo

1 Lyhenteet ja käsitteet	1
2 Johdanto	1
2.1 Taustaa.....	1
2.2 Työn tavoite	1
3 Tutkimusmenetelmät	2
3.1 Traceroute	2
3.2 Internet-topology-ohjelma	3
3.3 Tutkimuksen käytännön toteutus	4
4 Tulokset	4
5 Toimintaehdotuksia	5
6 Tutkimuksesta	5
7 Yhteenveto	5
Lähteet.....	6
Liite 1: Internet-topology-ohjelman dokumentaatio	
Liite 2: Internet topologiaan liittyviä linkkejä	

1 Lyhenteet ja käsitteet

Traceroute	Traceroute (vapaasti käännettynä jäljitä reitti) on ohjelma, jolla voidaan tutkia reittejä, joita IP-paketit kulkevat IP-kohteesta toiseen.
Reititin	Reititin on verkossa oleva kone, joka toimittaa paketteja eteenpäin kohti niiden määränpäättä valitsemalla niille reitin verkon tai verkon osan läpi reititysosoitteen perusteella
Linkki	Tässä työssä linkillä tarkoitetaan IP-tason yhteyttä kahden reitittimen välillä
elinaika (time to live)	Elinaika on UDP-paketin parametri, joka määrittelee montako osuutta (hops, kahden koneen välistä linkkiä) paketti saa kulkea

2 Johdanto

2.1 Taustaa

Internet on maailmanlaajuinen verkko, ja siten hyvin laaja. Tässä tutkimuksessa käsitellään Internetin loogista ja fyysistä topologiaa eli reitittimiä, niiden välisiä linkkejä ja mahdollisuuksien mukaan niiden maantieteellistä sijaintia.

Koska reitittimiä on hyvin paljon, joudutaan mukaan otettavien reitittimien määrää rajoittamaan noin 20-40:een kultakin mantereelta, yhteensä noin 130:een.

2.2 Työn tavoite

Tutkimusongelmana on ”Millainen on Internetin fyysinen ja looginen topologia?” Internetin topologia on jo sinänsä kiinnostava alue, lisäksi sen tuntemusta tarvitaan, kun Internetin toimintaa ja uusien toimintamallien sopivuutta Internetiin tutkitaan erilaisilla mallinuksilla ja simulaatioilla.

Työn ensisijaisena tavoitteena on luoda ”Internet-kartta”, esitys Internetin reitittimistä ja niiden välisistä linkeistä. Kartan pohjalta voidaan luoda ”Internet-simulaattori”, joten tavoite on sopusoinnussa tutkimusongelman kanssa.

Toissijaisena tavoitteena on, että työn sivutuotteena syntyisi Internetin kartoitusta edesauttavia työkaluja tai työmenetelmiä. Työn dokumentoinnin tavoitteena on, että tutkimusprosessi pystytään toistamaan yhtä hyvänä. tai virheistä oppien parempana. Näin jatkuvasti elävän Internetin karttaa voidaan pitää ajantasalla.

3 Tutkimusmenetelmät

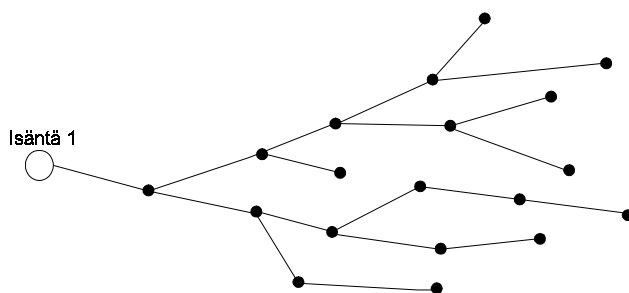
3.1 Traceroute¹

Tutkimuksessa hyödynnetään Unixin traceroute-ohjelmaa ja Internetistä löytyviä traceroute-palvelimia. Unix-koneissa traceroute joudutaan yleensä ottamaan käyttöön use traceroute -komennolla. Myös Windows 95:ssä ja Windows NT:ssä on traceroute-ohjelma. Traceroute-ohjelma selvittää pakettien käyttämiä reittejä isännältä (host) kohteeseen. Ohjelma lähettää kohteeseen UDP-paketteja, joiden elinaikaa (time to live), toisinsanoen sallittujen hyppyjen (hops) määrää asteittain nostetaan. Tavoitteena on, että välillä olevat reitittimet joutuvat kukin vuorollaan vastaamaan elinaika ylitetty (ICMP TIME_EXCEEDED) -viestillä, jolloin ne voidaan rekisteröidä.

Ohjelma aloittaa elinaika = 1 paketilla, jolloin ensimmäinen reitillä oleva reititin vastaa elinaika ylitetty -viestillä. Ohjelma kasvattaa seuraavissa paketeissa elinaikaa yhdellä kerrallaan odottaen portti ei saavutettavissa (ICMP PORT_UNREACHABLE) -viestiä, tai että sallittujen hyppyjen määrä (oletusarvo 30 on sama kuin TCP-yhteyksillä) ylitetään. Jotta kohde varmasti generoisi portti ei saavutettavissa -viestin UDP-portti asetetaan epätodennäköiseksi (oletus 33434). Porttia voidaan tarvittaessa muuttaa.

Ohjelma lähettää kussakin vaiheessa, kullakin elinaika-arvolla kolme pakettia. Pakettien määrää voidaan tarvittaessa muuttaa. Traceroute tulostaa rivin, jolla näkyy kunkin vaiheen elinaika-arvo, reitittimen nimi ja IP-osoite sekä kunkin paketin meno-paluu (round trip) -aika. Jos paketit ovat joutuneet eri reitittämiin, näytetään tiedot kaikista reitittimistä.

Koska traceroute osaa näyttää pakettien kulun vain isännältä kohteeseen, yhtä isäntää käytettäessä saadaan selville puumainen topologia, kuten kuvassa 1. Poikittaisia linkejä ei voida selvittää käyttämällä hyväksi vain yhtä isäntää.



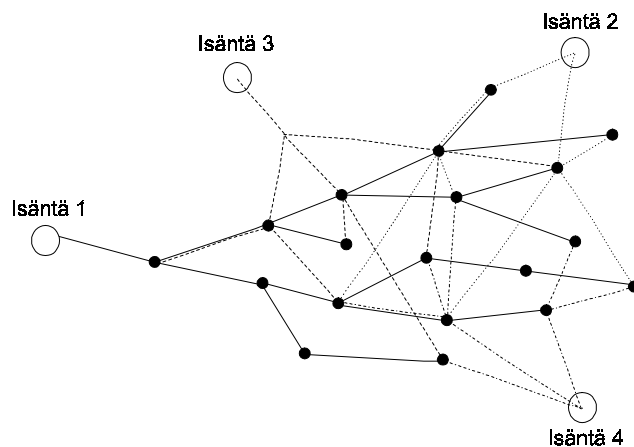
Kuva 1. Yhdestä isännästä tracerouten avulla selville saatu puumainen topologia

Ratkaisun ongelmaan tarjoavat Internetistä löytyvät WWW-pohjaiset traceroute-palvelimet, joita ylläpitävät erilaiset tahot. Tässä työssä käytettiin viittä eri traceroute-palvelinta², joista yksi sijaitsee Japanissa ja muut neljä Pohjois-Amerikassa. Muita

¹ Unix man-sivut: traceroute

² traceroute from IMnet routers, <http://publican.midorino.musashino.tokyo.jp/harumoto/traceroute/>

traceroute-palvelimia on helppo löytää WWW-hakukoneilla. Käytetyt palvelut on toteutettu cgi-scripteillä ja käyttävät hyväkseen oman isäntäkoneensa traceroute-ohjelmia. Kun kuudesta isännästä saadut puut yhdistetään, saadaan tulokseksi melko kattava kuva verkosta. Kuva 2 esittää tilannetta, jossa kuvassa 1 esitettyä verkkoa on tutkittu neljästä isännästä käsin.



Kuva 2. Neljästä traceroute-isännästä selvitetty verkko

3.2 Internet-topology-ohjelma

Reitittimistä ja niiden välisistä linkeistä piirretään kartta Internet-topology-ohjelmalla, joka on tehty tämän työn yhteydessä.

Ohjelma on laadittu Microsoftin Visual Basic 4.0:n Professional versiolla. Ohjelma toimii Windows 95 ja Windows NT 3.51 tai uudemmissa käyttöympäristöissä.

Ohjelma tallentaa siihen syötetyt reitittimet ja linkit tietokantaan, josta niitä voi selata. Ohjelma tulostaa reitittimet ja linkit kartalle joko neljälle rinnakkaiselle pystysuoralle paperille, 4 rinnakkaiselle * 2 päällekkäiselle vaakasuoralle tai 8 rinnakkaiselle * 2 päällekkäiselle pystysuoralle paperille. A4 paperia käytettäessä vastaavat koot ovat 80*30 cm, 120*40 cm ja 160*60 cm. karttaa voi myös tarkastella ruudulta.

Tietokanta on Microsoft Access yhteensopiva, joten siihen on helppo tuoda tietoja esimerkiksi tekstitiedostoista. Tietokannassa on kaksi taulukkoa, Router ja Link, joista Router sisältää tiedot reitittimistä ja Link linkeistä. Tietokannan rakenne on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Internet-topology-ohjelman käyttämän tietokannan rakenne

Router	Kenttä	Tyyppi	Tarkoitus
	Name	Text	Reitittimen nimi
	IP-Address	Text	Reitittimen IP-osoite
	City	Text	Kaupunki, jossa reititin sijaitsee
	X	Single	Reitittimen sijainnin pituuspiiri
	Y	Single	Reitittimen sijainnin leveyspiiri
Link			
	Begin	Text	Linkin ”alkupään” reitittimen nimi
	BeginX	Single	Linkin ”alkupään” Pituuspiiri
	BeginY	Single	Linkin ”alkupään” Leveyspiiri
	End	Text	Linkin ”loppupään” reitittimen nimi
	EndX	Single	Linkin ”loppupään” pituuspiiri
	EndY	Single	Linkin ”loppupään” leveyspiiri

Internet-topologia-ohjelman dokumentointi on liitteenä 1.

3.3 Tutkimuksen käytännön toteutus

Käytännössä Internetin topologiaa ryhdytään selvittämään etsimällä traceroute-ohjelmalle sopivia kohteita eri maista. URL:sta <http://celtic.stanford.edu/vlib/Servers.html> löytyy maantieteellisesti järjestetty lista maailman WWW-palvelimista. Se muodostaa hyvän lähtökohdan etsintätyölle. Lisää sopivia kohteita löytyy WWW-hakukoneilla, joista tutkimuksessa käytetään Altavistaa (<http://www.altavista.telia.com>).

Kohdepalvelimiin suoritetaan traceroute-kartoitus paikalliselta Unix-koneelta (alpha.hut.fi). Ohjelman palauttamista reitittimistä valitaan sopivat, jotka syötetään Internet-topology-ohjelmaan. Myös linkit aiemmin syötettyihin reitittimiin tallennetaan. Reitittimien valinnassa on kaksi tärkeää kriteeriä: reitittimen esiintymistiheys traceroute-kartoituksissa ja reitittimen nimi. Reitittimien maantieteellinen sijoittaminen hoidetaan reitittimien nimien perusteella, joten valittavien reitittimien nimistä pitää käydä ilmi, missä ne sijaitsevat (esim. core1-hssi4-0.san-jose.best.net sijaitsee San Josessa Kaliforniassa). Osa reitittimistä pystytään sijoittamaan muilla perusteilla, esimerkiksi domainin perusteella. Tämä vaihe on tutkimuksen työläin, poislukien Internet-topology-ohjelman kirjoittamisen.

Kun sopivia reitittimiä on löytynyt riittävä määrä, niiden välisiä linkkejä aletaan etsiä käyttämällä traceroute-palvelimia. Traceroute-kartoitukset suoritetaan kultakin traceroute-palvelimelta reitittimiin, ei erillisiin kohteisiin. Löytyneet linkit tallennetaan Internet-topology-ohjelmalla. Lopuksi Internet-kartta tulostetaan.

4 Tulokset

Kartalle otettiin mukaan 134 reititintä ja 183 linkkiä. Ainoa manner, jolta ei ole mukana reitittimiä on Antarktis. Reitittimistä 30 on Pohjois-Amerikassa, 63 Euroopassa, 11 Japanissa ja loput 30 muualla. 6 reititintä jäi paikantamatta tarkasti, muut pystyttiin yhdistämään johonkin kaupunkiin. Paikantamatta jääneetkin reitittimet voitiin yhdistää

johonkin maahan. Tutkimuksen tärkeimmät tulokset, tietokanta ja Internet-kartta ovat liitteinä.

5 Toimintaehdotuksia

Tässä tutkimuksessa tiedonkeräys tapahtui manuaalisesti. Tutkimuksen yhteydessä saatiin rakennettua toimiva tiedon tallennus- ja tulostustyökalu, Internet-topology-ohjelma. Seuraava looginen askel olisi tiedonkeruun automatisointi. Ongelmana traceroute-pohjaisen selvitystyön automatisoinnissa on tracerouten kyvyttömyys selvittää reittiä kahden mielivaltaisen ei-paikallisen kohteen välillä. Sopivan järjestelmän tuottaman datan lisääminen Internet-topology-ohjelman tietokantaan olisi helppoa joko Microsoft Accessilla tai ohjelmaa modifioimalla.

Toinen työläs ja vaikeasti automatisoitava tehtävä on reitittimien maantieteellisen sijainnin selvittäminen. Tässä tutkimuksessa siitä selvittiin valitsemalla reitittimet sopivasti. Vastaavan automaattisen järjestelmän luominen olisi kuitenkin jollei mahdotonta niin ainakin vaikeaa. Joka tapauksessa reitittimien koordinaattien (leveys ja pituuspiirien) selvittäminen ja syöttäminen olisi käsityötä.

Maantieteellisen sijainnin selvittämiseen olisi kuitenkin jo olemassa tehokas työkalu. RFC 1876 esittää tavan, jolla palvelimen paikkatieto voitaisiin liittää Domain Name Systemiin. Paikasta talletettaisiin kaikki kolme ulottuvuutta: pituus- ja leveyspiirit sekä korkeus.¹

6 Tutkimuksesta

Kuten aiemmin mainittu, tutkimuksen työläin osa oli sopivien reitittimien löytäminen ja paikantaminen sekä Internet-topology-ohjelman laatiminen. Valitettavasti löysin jutun DNS:n käyttämisestä paikkatiedon levittämiseen vasta palautusta edeltävänä päivänä, siitä olisi saattanut olla arvaamatonta hyötyä työtä tehtäessä.

Jo johdannosta selvisi, että työn painopiste oli kartan aikaansaamisella, työkalun (Internet-topology-ohjelma) laatimisella ja työtapojen dokumentoinnilla, teoreettinen puoli jäi tarkoituksella vähemmälle. Tavoitteisiin päästiinkin melko hyvin, kartta ja ohjelma tuli laadittua. Kartta on vielä osin puutteellinen vain mukaan otetut reitittimetkin huomioiden. Kaikkia niiden välisiä linkkejä ei varmasti ole rekisteröity. Lisäksi kartta on painottunut Pohjois-Amerikassa MCI:n runkoverkkoon, muiden palveluntarjoajien reitittämiä ei juurikaan ole mukana. Syy tähän on se, että vain MCI:n reitittimien sijainti selviää niiden nimistä.

7 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin Internetin fyysistä ja loogista topologiaa. Tutkimuksen tavoitteena oli luoda Internetistä kartta. Topologiaa selvitettiin traceroute-ohjelman avulla. Traceroute-ohjelmaa käytetään selvittämään IP-pakettien reittejä isännästä johonkin IP-kohteeseen.

¹ Davis Christopher: RFC 1876 Resources, 14.8.1997, <http://www.kei.com/homepages/ckd/dns-loc/>

Kartta saatiin luotua, siinä näkyy yhteensä 131 reitintä kaikilta mantereilta, paitsi Antarktikselta. Reititin- ja linkkitietojen tallettamiseen käytettiin työtä varten laadittua Internet-topology-ohjelmaa, jolla myös tulostettiin kartta.

Tulevaisuudessa vastaavaa työtä kannattaisi yrittää automatisoida laatimalla järjestelmä joka itse hoitaisi reititin- ja linkkitietojen keräämisen. Reitittimien paikkatieto lienee tulevaisuudessa helposti saatavilla DNS-järjestelmästä.

Lähteet

Unix man-sivut; traceroute
Davis Christopher: RFC 1876 Resources, 14.8.1997,
<http://www.kei.com/homepages/ckd/dns-loc/>

Liite 1: Internet-topology-ohjelman dokumentaatio

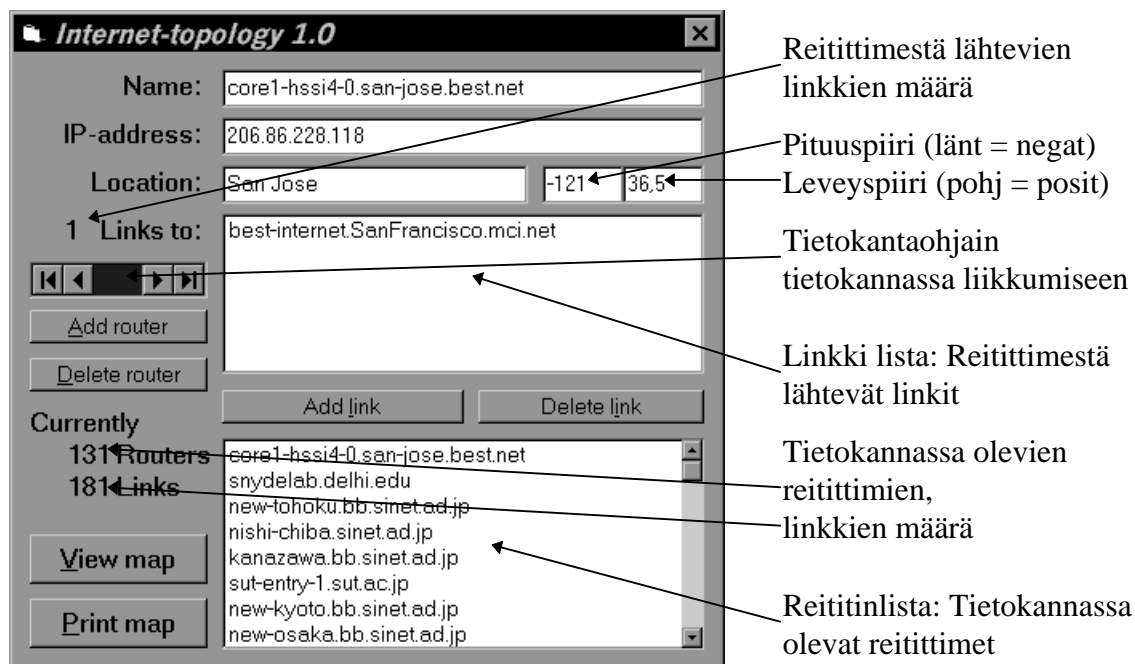
Sisällysluettelo

1. Käyttöohje
2. Ohjelman rakenne ja toimintaperiaate
3. Asennuslevykkeet, lähdekoodi

1. Käyttöohje

Asennus: Start|Run|A:setup, asennus asentaa myös tietokannan.

Ohjelma avaa automaattisesti aloitettaessa tietokannan.



Reitittimen lisääminen:

1. Lisää reititin Add router -nappulasta.
2. Syötä reitittimen nimi ja IP-osoite.
3. Syötä reitittimen sijainti: kaupunki, pituuspiiri (Läntistä pituutta negatiivinen, itäistä positiivinen), leveyspiiri (pohjoista leveyttä positiivinen, eteläistä negatiivinen).
4. Syötä linkit jo olemassa oleviin reitittimiin valitsemalla reititin reititinlistasta ja painamalla Add link -nappula.

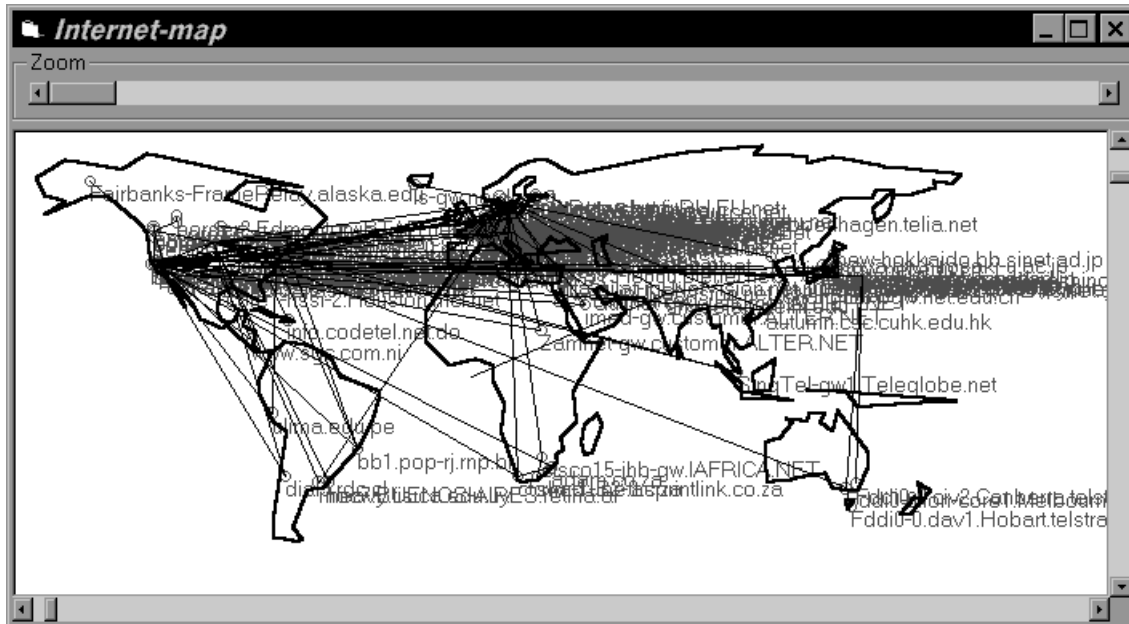
Voit poistaa linkin valitsemalla sen linkkistasta ja painamalla Delete link -nappulaa.

Voit poistaa reitittimen painamalla Delete router -nappulasta.

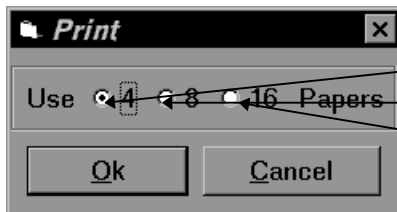
Voit liikkua reititintietokannassa kolmella tavalla:

1. Tietokantaohjaimella
2. Kaksoisnapauttamalla reitintä linkklistasta
3. Kaksoisnapauttamalla reitintä reititinlistasta

Voit siirtyä tarkastelemaan karttaa ruudulta View map -nappulasta.



Voit tulostaa kartan Print map -nappulasta.



Voit tulostaa kartan:

4 rinnakkaiselle pystypaperille (80*30 cm)

4 rinnakkaiselle * 2 päällekkäiselle vaakapaperille (120*40 cm)

8 rinnakkaiselle * 2 päällekkäiselle pystypaperille (160*60 cm)

2. Ohjelman rakenne ja toimintaperiaate

Ohjelma on Windows ohjelma, joka rakentuu kolmesta lomakkeesta (Internet-topology, Internet-map, Print), niille sijoitetuista kontrolleista (nappulat, tekstilaatikot, listat...) ja kontrolleihin ja lomakkeisiin liittyvistä proseduureista.

Ohjelma käyttää tietojen tallentamiseen tietokantaa, jossa on kaksi taulukkoa, Router ja Link. Router-taulukossa on tiedot reitittimistä, Link-taulukossa linkeistä. Taulukkojen rakenne on seuraava:

Router	Kenttä	Tyyppi	Tarkoitus
	Name	Text	Reitittimen nimi
	IP-Address	Text	Reitittimen IP-osoite
	City	Text	Kaupunki, jossa reititin sijaitsee
	X	Single	Reitittimen sijainnin pituuspiiri

	Y	Single	Reitittimen sijainnin leveyspiiri
Link			
	Begin	Text	Linkin ”alkupään” reitittimen nimi
	BeginX	Single	Linkin ”alkupään” Pituuspiiri
	BeginY	Single	Linkin ”alkupään” Leveyspiiri
	End	Text	Linkin ”loppupään” reitittimen nimi
	EndX	Single	Linkin ”loppupään” pituuspiiri
	EndY	Single	Linkin ”loppupään” leveyspiiri

Lyhyt kuvaus aliohjelmista

Internet-topology-lomake

UpdateCount

Päivittää tietokannassa olevien reititinten ja linkkien määrän lomakkeelle

UpdateLinkCoordinates

Päivittää linkkien päiden koordinaatit vastaamaan vastaavien reitittimien koordinaatteja

UpdateLinks

Päivittää linkit linkkilistaan reitittimen tai linkkien muuttuessa

bAddLink_Click

Lisää linkin tietokantaan, kun Add link -nappulaa painetaan

bAddRouter_Click

Lisää reitittimen tietokantaan, kun Add router -nappulaa painetaan

bDeleteLink_Click

Poistaa linkin tietokannasta, kun Delete link -nappulaa painetaan

bDeleteRouter_Click

Poistaa reitittimen tietokannasta, kun Delete router -nappulaa painetaan

bPrintMap_Click

kutsuu UpdateLinkCoordinates-aliohjelmää, kun Print map -nappulaa painetaan
Lataa ja näyttää Print-lomakkeen

bViewMap_Click

kutsuu UpdateLinkCoordinates-aliohjelmää, kun View map -nappulaa painetaan
Lataa ja näyttää Internet Map -lomakkeen

Data1_Reposition

Kutsuu UpdateLinks aliohjelmää, kun reititintä on muutettu ja tietokantaohjain on siirtynyt uuteen kohtaan

Form_Load

Suoritetaan aina kun lomake ladataan (ohjelman käynnistyessä)

Kutsuu UpdateCount-aliohjelmaa

Alustaa Flag-muuttujan Falseksi

IstLinks_DblClick

Vaihtaa valitun reitittimen nykyiseksi, kun sitä kaksoisnapautetaan linkkilistassa

IstRouters_DblClick

Vaihtaa valitun reitittimen nykyiseksi, kun sitä kaksoisnapautetaan reititinlistassa

Internet-map -lomake

UpdateMap

Piirtää kartan

Form_Load

Kutsuu UpdateMap-aliohjelmaa, kun lomake ladataan

Form_Resize

Päivittää lomakkeen kontrollien koot ja paikat sekä kutsuu UpdateMap-aliohjelmaa, kun lomakkeen koko muuttuu

scrX_Change

Kutsuu UpdateMap aliohjelmaa kun vaakasuoraa vierityspalkkia vieritetään

scrY_Change

Kutsuu UpdateMap aliohjelmaa kun pystysuoraa vierityspalkkia vieritetään

scrZoom_Change

Muuttaa vierityspalkkien vaihteluvälit ja kutsuu UpdateMap-aliohjelmaa, kun zoomausvierityspalkkia vieritetään

Print-lomake

PrintLinks

Tulostaa paperille linkit

PrintRouters

Tulostaa paperille reitittimet

PrintWorldMap

Tulostaa paperille maailmankartan

bCancel_Click

Poistaa lomakkeen, kun Cancel-nappulaa painetaan

bOk_Click

Suoritetaan, kun Ok-nappulaa painetaan

Valitsee paperimäärän
Valmistele tulostimen tulostusta varten
Kutsuu PrintLinks, PrintRouters ja PrintWorldMap aliohjelmia, eli tulostaa kartan

o16_Click

Asettaa Size-muuttujan arvoksi 16 (paperien lukumäärä)

o4_Click

Asettaa Size-muuttujan arvoksi 4 (paperien lukumäärä)

o8_Click

Asettaa Size-muuttujan arvoksi 8 (paperien lukumäärä)

3. Asennuslevykkeet, lähdekoodi

Asennuslevykeitä on 3.

Lähdekoodi on Internet-topologia ohjelmalevykkeellä 3/3 tiedostoissa frmprint.frm, inetmap.frm, inetto.frm, inetto.vbp.

Liite 2: Internet-topologiaan liittyviä linkkejä

Internetin topologiaan liittyviä linkkejä

Virtual Tourist World Map, <http://www.vtourist.com/webmap/>, Maailmanlaajuinen graafinen karttajärjestelmä Internet-palvelimista

World Wide Web Servers: Summary, <http://celtic.stanford.edu/vlib/Servers.html>, Internet palvelimia maittain ja maanosittain järjestettynä

Traceroute Server List, http://www.uniplus.ch/direct/app_trce.htm, Lista WWW-pohjaisista Traceroute-palvelimista

Barry's Goodies, <http://sunflower.singnet.com.sg/~barry/barry-goodies.html>, Yleistä tietoa Internetistä ja sen topologiasta, mm. linkkilista joihinkin karttoihin (ftp-palvelimilla)

Traceroute from Tokyo, <http://w3.hart.co.jp/cgi-bin/nph-traceroute>, Japanilainen traceroute-palvelin, lista traceroute-palvelimista

Putting Locations into the DNS: An Overview, <http://www.kei.com/homepages/ckd/dns-loc/>, Hyvä sivu DNS:n käyttämisestä palvelimen tai reitittimen paikan ilmoittamiseen

Työn tekemiseen käytetyt Traceroute-palvelimet

traceroute from IMnet routers,

<http://publican.midorino.musashino.tokyo.jp/harumoto/traceroute/>

IOCOM Traceroute, <http://www.tpoint.net/cgi-bin/trace>

ABSnet Traceroute, <http://www.abs.net/cgi-bin/traceroute>

Nobis traceroute, <http://www.nobis.com/cgi-bin/trace-route>

Foothill.Net traceroute, <http://www.foothill.net/cgi-bin/nph-traceroute>