

Dynamo-Sovellusprojekti

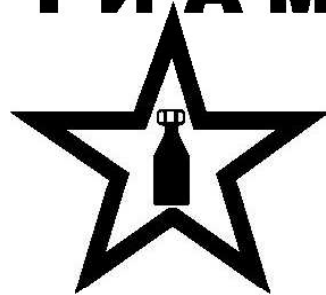
Sovellusraportti

Tero Hätinén

Joni Purojärvi

Antti Pyykkönen

D Y N A M O



Versio 0.5

Julkinen

19.12.2007

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Jyväskylä

Hyväksyjä	Päivämäärä	Allekirjoitus	Nimenselvennys
Projektipäällikkö	__.__.2007		
Tilaaja	__.__.2007		
Ohjaaja	__.__.2007		

Tietoa dokumentista

Tekijät:

- | | | |
|------------------------|--------------------|-------------|
| • Tero Hätinen (TH) | tejuhati@cc.jyu.fi | 050-3528817 |
| • Joni Purojärvi (JP) | jopuroja@cc.jyu.fi | 040-5271885 |
| • Antti Pyykkönen (AP) | anpyykko@cc.jyu.fi | 050-5376727 |

Dokumentin nimi: Dynamo-projekti, Sovellusraportti

Sivumäärä: 26

Tiedosto: sovellusraportti05.tex

Tiivistelmä: Projekti kehitti Dynamics-sovellusta vastaamaan paremmin tietotekniikan laitoksen ja LaiLa-projektin tarpeita. Dynamo-projekti toteutti sovellukseen DHCP-tuen ja IPv4 verkon kuormituksen siedon testaustyökalun virtuaalisen vierasagentin protoversion. Tässä dokumentissa kuvataan DHCP-tuen ja virtuaalisen vierasagentin toteutustekniikat, toteutus, testaus ja jatkokehitysideat.

Avainsanat: DHCP, Dynamics, jatkokehitys, kahdentaminen, kotiagentti, mobiililaitte, Mobile IP, testaus, vierasagentti, virtuaalinen vierasagentti.

Muutoshistoria

Versio	Päivämäärä	Muutokset	Tekijät
0.1	27.11.2007	Ensimmäinen luonnos. Laadittu luvut "Johdanto", "Termit", "Toteutustekniikat ja työkalut", "Dynamicsin alkuperäinen toiminta ja rakenne", "Projektissa saavutetut tavoitteet ja jatkokehitys", "Kotiagentin DHCP-tuki", "Virtuaalinen vierasagentti", "Yhteenveto" ja "Lähteet".	TH, AP, JP
0.2	27.11.2007	Lisätty lukuun "Virtuaalisen vierasagentti" tiedot. Lisätty virtuaalisen vierasagentin osalta saavutetut tavoitteet ja jatkokehitystavoitteet. Korjattu kirjoitus- ja muotoiluvirheitä.	JP
0.3	11.12.2007	Korjattu kirjoitusvirheitä kaikista luvuista ja muokattu dokumentin kappaleiden järjestystä. Poistettu vaatimusmäärittelyssä käsiteltyjä asioita.	TH
0.4	12.12.2007	Korjattu kirjoitusvirheitä kaikista luvuista ja lisätty luku "virtuaalisen vierasagentin toteutusratkaisut".	TH
0.5	19.12.2007	Korjattu kirjoitusvirheitä kaikista luvuista ja muokattu dokumentin kappaleiden järjestystä edelleen. Lisätty jatkokehitysideoita ja ajatuksia testauksesta. Johdantoa ja yhteenvetoa on muokattu. Kehitysaskeleet luvut on lisätty lukuihin 5 ja 6.	TH

Tietoa projektista

Dynamics on Teknillisen korkeakoulun kehittämä sovellus Mobile IPv4 -verkkoon. Se mahdollistaa liikkuvien päätelaitteiden liikkumisen verkosta toiseen katkaismatta yhteyttä, sekä huolehtii pakettien välittämisestä verkosta toiseen. Dynamo-projekti jatkokehitti Dynamics-sovellusta vastaamaan paremmin tietotekniikan laitoksen ja LaiLa-projektin tarpeita.

Tekijät:

- Tero Häätinen (TH) `tejuhati@cc.jyu.fi` 050-3528817
- Joni Purojärvi (JP) `jopuroja@cc.jyu.fi` 040-5271885
- Antti Pyykkönen (AP) `anpyykko@cc.jyu.fi` 050-5376727

Tilaaja:

- Riku Ahonen `riahonen@jyu.fi` 040-5174014
- Olli Alanen `opalanen@jyu.fi` 014-2604974

Ohjaajat:

- Juha Huikari `juha.huikari@jyu.fi` 044-5329883
- Jukka-Pekka Santanen `santanen@mit.jyu.fi` 014-2602756

Yhteystiedot:

- Sähköpostilistat `dynamo@korppi.jyu.fi`,
`dynamo_opetus@korppi.jyu.fi`,
`dynamo-oma.group@korppi.jyu.fi`
- Sähköpostiarkistot <https://korppi.jyu.fi/list-archive/dynamo/ind.html>,
https://korppi.jyu.fi/list-archive/dynamo_opetus/ind.html
- WWW-sivut <http://sovellusprojektit.it.jyu.fi/dynamo>

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Termit	2
3	Toteutustekniikat, kehitystyökalut ja -ympäristö.	5
3.1	Toteutustekniikat ja kehitystyökalut	5
3.2	Kehitysympäristö	5
4	Järjestelmän jatkokehityksen toteutuminen	6
4.1	Dynamicsin alkuperäinen toiminta ja rakenne	6
4.2	DHCP-tuen toteutuminen	6
4.3	Virtuaalisen vierasagentin toteutuminen	7
4.4	Mobiililaitteen toteutuminen	7
5	Kotiagentin DHCP-tuen toteutusratkaisut	8
5.1	Tekninen toteutus	8
5.2	Kehitysaskeleet	8
5.3	Uusi tietorakenne	9
5.4	Tietorakennetta käsittelevät aliohjelmat	11
5.5	Kotiagentin muutetut aliohjelmat ja tiedostot	12
5.6	Kotiagenttiin lisätyt tiedostot	13
6	Virtuaalinen vierasagenttin toteutusratkaisut	14
6.1	Tekninen toteutus	14
6.2	Kehitysaskeleet	14
6.3	Käättäminen	15
6.4	Uudet tietorakenteet	15
6.5	Asetustiedosto	16
6.6	Lisätyt aliohjelmat	17
6.7	Muutetut aliohjelmat	18
7	Testaus	19
7.1	Testaus toteutusvaiheessa	19
7.2	Testaus Dynamo-verkoissa	19
7.3	Testaus tilaajan verkossa	20

8	Jatkokehityksen tavoitteet	21
8.1	DHCP-tuen jatkokehitys	21
8.2	Muut kotiagentin jatkokehitysideat	22
8.3	Virtuaalisen vierasagentin jatkokehitys	22
8.4	Dynamicsin rakenne ja kommentointi	22
9	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

1 Johdanto

Dynamics on Teknillisen korkeakoulun kehittämä sovellus Mobile IPv4 -verkkoon. Se mahdollistaa liikkuvien päätelaitteiden liikkumisen verkosta toiseen katkaistamatta yhteyttä, sekä huolehtii pakettien välittämisestä verkosta toiseen. Dynamo-projekti oli Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitoksen syksyn 2007 sovellusprojekti. Se määritteli ja suunnitteli sekä osin toteutti ja testasi Dynamics-sovellukseen tarvittavat muutokset, joilla Dynamics saatiin paremmin vastaamaan LaiLa-projektin tarpeita.

Dokumentissa esitetään järjestelmän jatkokehityksen tavoitteita ja toteutusratkaisut. Jatkokehitysvaatimukset ja vaatimusten toteutumiset esitellään vaatimusmäärittelyssä [8]. Projektin käytänteitä, aikataulua, riskejä ja muita projektin läpivientiin liittyviä asioita käsitellään projektiraportissa [7]. Testaussuunnitelmassa [11] ja testausraportista [12] käydään läpi testitapaukset ja testaustulokset. DHCP-tuen tilakaavio kuvista [13] selviää DHCP-toteutuksen kohta ohjelmassa. Muutosdokumenttissa [14] on kuvattu lyhesti sovellukseen tehdyt muutokset. Kotiagentin [15] ja virtuaalisen vierasagentin Doxygen-dokumentissa [16] on kuvattu tarkemmin ohjelmien lähdekoodit.

Luvussa 2 on kuvattu tärkeimmät projektiin liittyvät termit. Sovelluskehityksessä käytettyjä ohjelmistoja ja tekniikoita esitellään luvussa 3. Sovelluksen jatkokehitetyt toiminnot esitellään luvussa 4. DHCP-tuen j toteutusratkaisut kuvataan tarkemmin luvussa 5 ja virtuaalisen vierasagentin luvussa 6. Luvussa 7 kerrotaan DHCP-tuen testauksesta ja luvussa 8 pohditaan jatkokehitysideoita.

2 Termit

Luvussa kuvataan dokumentin ja projektin olennainen termistö.

Aihealueen termejä ovat seuraavat:

Dynamics	on Teknillisen korkeakoulun kehittämä sovellus Mobile IPv4 -verkkoon.
Dynamo-verkko	on Dynamo-projektissa käytettävä verkko, jonka vaatimuksia vastaavaksi Dynamics-sovellusta muokataan.
GPL	on käytetyin vapaanlähdekoodin ohjelmien lisenssi.
LaiLa	on tietotekniikan laitoksen tutkimusprojekti, jossa tarkastellaan langattomien laajakaistapalveluiden hallintaa multi-access-verkossa.

Teknisiä termejä ovat seuraavat:

Agenttipyyntöviesti	(engl. <i>Agent Solicitation Message</i>) on mobiililaitteen generoima viesti, kun laite tulee verkkoon ja haluaa rekisteröityä agentille.
Agentti	on joko koti- tai vierasagentti.
Autentikointi	on tapahtuma, jolla kaksi osapuolta varmistavat toistensa identiteetin.
DHCP	(engl. <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>) on verkko-protokolla, joka jakaa dynaamisesti IP-osoitteita verkkoon liittyville päätelaitteille.
Elinaika	on tunnelin elinaika agenttien välillä.
Lease-aika	on aika sekunteina, jonka ajan DHCP:n antama IP on käytettävissä.
Kotiagentti	on kotiverkossa oleva ohjelmisto, joka tunneloi kaikki mobiililaitteelle menevät paketit ja ylläpitää tietoa mobiililaitteen sijainnista.

Kotiosoite	on mobiililaitteen kotiverkon osoite, joka pysyy aina samana, vaikka laite siirtyisi kotiverkosta vierasverkkoon.
Kotiverkko	on verkko, johon mobiilin päätelaitteen kotiosoite kuuluu.
Jaettu salaisuus	on symmetrisessä salauksessa käytetty avain, jonka avulla selväkielinen teksti salataan.
MAC-osoite	on laitteen fyysinen osoite.
Mobiililaite	on laite, joka voi liikkua verkosta toiseen.
Mobile IPv4	on IPv4-protokollan laajennus, joka mahdollistaa liikkuvien päätelaitteiden toiminnan IPv4-verkossa.
NAI	(engl. <i>Network Address Identifier</i>) on Mobile IPv4 -verkossa käytettävä mobiililaitteen tunniste.
Rekisteröintiviesti	on mobiililaitteen kotiagentille generoima rekisteröintipyyntö.
SPI	on mobiililaitteen salausavain.
Tiedostokuvaaja	(engl. <i>File Descriptor</i>) on viite muistialueeseen, jota voi käyttää kuten tiedostoa.
Tilapäisosoite	(engl. <i>Care-off -Address</i>) on mobiililaitteen osoite vierasverkossa (vierasagentin ja mobiililaitteen välillä).
Vastaanottava solmu	(engl. <i>Corresponded Node</i>) on mobiililaitteen kanssa keskusteleva palvelu tai kone.
Vierasagentti	ohjaa liikennettä kotiagentin ja mobiilin päätelaitteen välillä, sekä tarjoaa verkon palvelut päätelaitteelle.
Vierasverkko	on verkko, jossa mobiili päätelaite vieraillee.
Viestiputki	(engl. <i>Pipe</i>) on erikoistiedosto, jolla on kaksi tiedostokuvaajaa.
Virtuaalinen vierasagentti	on kotiagentin kuormituksen testaukseen tarkoitettu työkalu.

Rekisteröintiviesti

on mobiililaitteen kotiagentille generoima rekisteröinti-
pyyntö.

3 Toteutustekniikat, kehitystyökalut ja -ympäristö.

Luvussa esitellään sovelluksen kehittämisessä käytetyt toteutustekniikat ja kehitystyökalut

3.1 Toteutustekniikat ja kehitystyökalut

Sovelluksen jatkokehitys tapahtui testausympäristössä KDevelop 3.4.1 -sovelluskehitysympäristöllä. Sovelluksen kehitys oli inkrementaalista. Jatkokehittävään ohjelmakoodiin tehtiin pieniä muutoksia, jotka testattiin heti käyttäen hyväksi Wireshark-pakettikaapparia ja GDP-debuggeria. Wireshark-ohjelman versiolla 0.99.4 seurattiin verkon liikennettä ja GDP-debuggerilla tarkailtiin muuttujien tiloja. Lokitulosetuksilla selvitettiin ohjelman toimintaa ja rakennetta.

Tehdyt ja muutetut ohjelmakoodi kommentoitiin Doxygenin vaatimalla tavalla. Muokatuista ja uusista ohjelmakoodeista tehtiin englanninkielinen muutosdokumentti [14] Changes.html, josta selviää lyhyesti Dynamicsiin tehdyt muutokset.

3.2 Kehitysympäristö

Järjestelmän ohjelmointi tapahtui "Dynamo-verkossa", koska Dynamics -projektista puuttuivat projektitiedostot, joita tarvitaan kehittämiseen kehitystyökalulla (IDE). Testausympäristössä voitiin varmistaa myös paketin lähteminen verkkoon oikeilla arvoilla ja saapuminen oikeaan osoitteeseen.

Testausympäristö koostui neljästä koneesta. Kaikkiin neljään koneeseen asennettiin Linux-käyttöjärjestelmä. Lisäksi yhteen koneeseen (mobiili päätelaite) asennettiin Windows XP sekä kaupallinen Cisco-mobiililaiteohjelmisto. Testausympäristön koneet muodostivat itsenäisen verkon erilleen yliopiston verkosta. Testaushuoneeseen asennettiin lisäksi yksi kone, joka oli yhteydessä yliopiston verkkoon, mutta erillään testiverkosta. Testausympäristö on esitelty tarkemmin testaussuunnitelmassa [?].

4 Järjestelmän jatkokehityksen toteutuminen

Luvussa esitellään sovellukseen kehitetyt toiminnot pääpiirteittäin.

Projekti jatkokehitti Dynamics Mobile IPv4 -ohjelmistoa, joka on kirjoitettu C-kielellä. Projektin tärkeimpänä tavoitteena oli lisätä DHCP-tuki Dynamicsin kotiagenttiin. DHCP-tuen toteutuksessa hyödynnettiin C-kielellä kirjoitettua UDCHP-asiakasohjelmaa. DHCP-tuki toteutettiin säikeistystä lukuunottamatta. Virtuaalisen vierasagentin tavoitteet toteuttiin osittain. Virtuaalinen vierasagentti toteutui siten, että se lähettää useita liittymis- ja poistumisviestejä verkkoon asetustiedostosta määritettyjen parametrien mukaan.

4.1 Dynamicsin alkuperäinen toiminta ja rakenne

Dynamics (versio 0.8.1) on Teknillisen korkeakoulun kehittämä järjestelmä Mobile IPv4 -verkkoon. Se mahdollistaa liikkuvien päätelaitteiden liikkumisen verkosta toiseen katkaisematta yhteyttä, sekä huolehtii pakettien välittämisestä verkosta toiseen.

Dynamics pitää sisällään kaikki tarvittavat ohjelma Mobile IPv4 -verkon pystytykseen. Mukana tulevat sovellukset ovat kotiagentti, vierasagentti ja mobiililaitte. Dynamics ei tue dynaamisia koti- tai tilapäisosoitteita, joten kaikki IP-tiedot tulee syöttää etukäteen sovellusten asetustiedostoihin.

Alkuperäistä toimintaa on esitelty tarkemmin vaatimusmäärittelyssä [8].

4.2 DHCP-tuen toteutuminen

DHCP-tuen tavoitteiden toteutuminen on esitelty vaatimusten osalta vaatimusmäärittelyssä [8] ja toteutusratkaisujen osalta luvussa 6.

DHCP-tuen tavoitteet saatiin toteutettua siltä osin, että kotiagentti pyytää IP-osoitteet dynamisesti DHCP-palvelimelta, tallentaa ne tietorakenteeseen ja lähettää IP-osoitteen sitä pyytäneelle mobiililaitteelle. DHCP-keskustelun ajan kotiagentti ei voi vastata muiden mobiililaitteiden rekisteröitymispyyntöihin.

DHCP-tuen toteuttamisessa oli ongelmana DHCP-keskustelun toteuttaminen omassa säikeessä. Muuttujien siirtäminen aliohjelmista säikeeseen ei onnistunut ja säikeistys jäi toteuttamatta. Huomattiin, että Dynamicsin vierasagentti ei kykene välittämään IP-osoitteesta 0.0.0.0 tullutta pakettia kotiagentille. Tämä aiheuttaa sen, että mobiililaite ei voi kysyä IP-osoitetta dynaamisesti, kun se on liittynyt vierasagentin kautta verkkoon. Ongelma kierrettiin käyttämällä kiinteää osoitetta Ciscon asiakasohjelmistossa, vaikka IP-osoite haetaan dynaamisesti DHCP-palvelimelta.

4.3 Virtuaalisen vierasagentin toteutuminen

Virtuaalisen vierasagentin toteutuminen vaatimusten osalta esitelty on tarkemmin vaatimusmäärittelyssä [8] ja toteutusratkaisujen osalta luvussa 7.

Virtuaalinen vierasagentti tavoitteiden mukaisesti lähettää rekisteröintipyyntöjä ja poistumispyyntöjä kotiagentille. Virtuaalisten mobiililaitteiden asetukset luetaan erillisestä tiedostosta, jonka avulla virtuaalista vierasagenttia hallitaan.

Virtuaalinen vierasagentin järjestelmä toteutettiin Dynamicsin mobiililaitteen sovelluksen ympärille, koska sovellus sisälsi valmiiksi jo lukuisia aliohjelmiä pakettien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Virtuaaliseen vierasagenttiin luotiin tietorakenne ja sen käsittelyyn tarvittavat aliohjelmat. Virtuaalinen vierasagentti lukee asetukset käyttäjän antamien parametrien mukaan asetustiedostosta ja luo niiden pohjalta tietorakenteen. Tietorakenteen luominen käyttäjän antamien komentoriviparametrien avulla ei toteutunut.

4.4 Mobiililaitteen toteutuminen

Dynamics-järjestelmän mobiililaite ei tue dynaamista kotiosoitetta, joten jatkokehitettävän järjestelmän testauksessa käytettiin Ciscon Mobile IPv4 -asiakasohjelmistoa, joka tukee dynaamista kotiosoitetta.

5 Kotiagentin DHCP-tuen toteutusratkaisut

Luvussa kuvataan DHCP-tuen toteutus, toteuksen kehitysaskeleet ja tietorakenne sekä aliohjelmat. Dynamicsiin liitettiin DHCP-tuki dynaamiselle kotiosoitteella, mutta DHCP-keskustelua ei saatu säikeistettyä.

5.1 Tekninen toteutus

Dynamicsin kotiagenttiin lisättiin **tuki dynaamiselle kotiosoitteelle**. Kotiagentti hyväksyy IP-osoitteesta 0.0.0.0 tulevat rekisteröintipyynnöt, tekee tämän jälkeen DHCP-kutsun ja palauttaa rekisteröintivastauksessa DHCP:lta saadun IP-osoitteen kotiosoitteena mobiililaitteelle.

UDHCP:n `udhcp.c`-tiedoston lähdekoodi siirrettiin kokonaan kotiagentin `ha.c`-tiedostoon. Tämän jälkeen UDHCP:sta siirrettyä lähdekoodia muokattiin siten, että UDHCP käytti kotiagenttiin rakennettua tietorakennetta. UDHCP palauttaa DHCP-palvelimelta saadun IP-osoitteen sen sijaan, että asettaisi osoitteen verkkolaitteen osoitteeksi. Kotiagentti asetettiin lähettämään DHCP-kutsuja laitteen rekisteröityessä, poistuessa ja tunnelin elinaikaa uusittaessa.

DHCP-tuen toimintaa on esitelty muutosdokumentissa [14] ja tilakaaviossa [13].

5.2 Kehitysaskeleet

DHCP-tuen toteutus aloitettiin tutustumalla Dynamicin kotiagentin lähdekoodiin ja dokumentointiin sekä selvitettiin kotiagentin aliohjelmien toimintaa ja viestinvälitysketjuja. Samalla tuli tutuiksi C-kieli ja IPv4 protokolla.

Tutustumisen jälkeen mietittiin DHCP-tuen toteutustapoja. Vaihtoehtoina olivat irrallinen DHCP-asiakas, joka keskustelee IP-protokollan avulla Dynamisin kanssa tai DHCP-asiakasohjelma sisällytetään osaksi Dynamicsin kotiagenttia. Tekninen ohjaaja löysi GPL-lisenssin alaisen UDHCP-asiakasohjelman, joka osoittautui hyväksi. Vaihtoehtona oli myös IPv6-tuella varustettu ISC-asiakasohjelma. Asiakasohjelmaksi valittiin UDHCP ja toteutustavaksi DHCP-asiakasohjelma liittäminen osaksi Dynamicsia. DHCP-keskustelu ja -viestit tulivat tutuiksi tässä vaiheessa.

Dynamiscin ja UDHCP:n yhdistäminen toteutui viikossa. Ensimmäisen DHCP-viestin lähettämisen jälkeen toteutettiin tietorakenne, joka pitää yllä tietoa rekisteröityneistä mobiililaitteista ja niiden tiedoista. Tässä vaiheessa huomattiin, että DHCP-keskustelu DHCP-palvelimen kanssa on toteutettava erillisessä säikeessä, jotta Dynamicin pääohjelma ei jäisi odottamaan DHCP-keskustelun loppumista.

Säikeistyksen toteuttaminen aiheutti ongelmia. Aluksi säikeistettiin koko Dynamicin viestinkäsittely ja UDHCP-keskustelu. Huomattiin, että säikeitä tulee sadoittain liikaa. Toteutusajatus ei ollut oikea, joten kokeltiin jakaa viestinkäsittely kahtia. IP-hankkiminen ja vastausviestin muodostus tehtäisiin eri säikeessä. Tämä toteutusratkaisu ei toiminut. Kolmas säikeistysidea oli säikeistämisen siirtämisen aikaisempaa koodin kohtaan. Tämä idea osoittaunut myös toimimattomaksi. Turhia säikeitä tuli edelleen sadoittain.

Säikeistyksen toteuttamisen oikeaksi kohdaksi ajateltiin DHCP-kutsu. Vain UDHCP:n käsittelemät viestit säikeistetään. Em. ajatuksen ongelmaksi tuli Dynamicsin parametrien välitys säikeelle ja säikeeltä takaisin Dynamicsin koodiin. Ratkaisu osoitautui liian työlääksi, joten toteutusta ei tehty. Loppullisessa DHCP-tuesta säikeistys jätettiin pois.

Viimeisenä vaiheena testattiin säikeistämätöntä DHCP-keskustelua, etsittiin virheitä, tarkastettiin pakettien sisältöjä ja muokattiin koodin ulkoasua julkastavaan kuntoon.

5.3 Uusi tietorakenne

Kotiagenttiin ha.c lisättiin uusi tietorakenne, jonka avulla säilytetään tietoa kotiverkkoon rekisteröityneistä mobiililaitteista. Tietorakenteen avulla siirretään tietoa eri aliohjelmille. Dynamicsin alkuperäinen `binding`-tietorakenne sisältää hieman päällekkäistä tietoa toteutetun tietorakenteen kanssa, mutta Dynamicsin monimutkaisuuden vuoksi näitä kahta tietorakennetta ei yhdistetty.

Tietorakenne on lista C:n tietueista. Tietorakenne on seuraava:

```
struct dhcp_mobile {
unsigned char *nai;
int state;
unsigned long requested_ip;
unsigned long server_addr;
unsigned long timeout;
int packet_num;
int fd;
int signal_pipe[2];
int nai_length;
int lease;
int spi;
};
```

Tietuelista luodaan rivillä

```
struct dhcp_mobile dhcp_mobile_array[HA_DEFAULT_MAX_BINDINGS]
```

Tietueen muuttujat kuvaavat seuraavia ominaisuuksia:

nai	on mobiililaitteen NAI.
state	on mobiililaitteen DHCP-tilakoneen standardin mukainen tila [2].
requested_ip	on mobiililaitteen saama IP-osoite DHCP-palvelimelta.
server_addr	on mobiililaitteelle IP-osoitteen antaman DHCP-palvelimen IP-osoite.
timeout	on DHCP-asiakkaaseen asetettu vakioaika, jonka se odottaa vastausta DHCP-palvelimelta.
packet_num	kertoo, kuinka monta DHCPDISCOVER-pakettia kukin DHCP-asiakas on lähettänyt.
fd	on DHCP-asiakkaan tarvitsema tiedostokuvaaja (engl. <i>file descriptor</i>), jota käytetään viestin lähettämiseen sokettiohjelmoinnissa.
signal_pipe	on DHCP-asiakkaan käyttämä viestiputki, johon viestit lähetetään.

nai_length	on mobiililaitteen NAI:n pituus.
lease	on mobiililaitteen IP-osoitteen "laina-aika" sekunneissa.
spi	on mobiililaitteen salausavain.
HA_DEFAULT_MAX_BINDINGS	on kotiagentin oletusarvo määrittäen, kuinka monta mobiililaitetta kotiagenttiin voi liittyä.

5.4 Tietorakennetta käsittelevät aliohjelmat

Tietorakenteen käsittelyyn liittyen lisättiin tiedostoon `ha.c` seuraavat aliohjelmat:

add_dhcp_mobile	lisää mobiililaitteen tietorakenteeseen. Sitä kutsutaan parametrein IP-osoite, NAI ja NAI:n pituus. Se palauttaa 1 lisäyksen onnistuessa ja 0 lisäyksen epäonnistuessa.
delete_dhcp_mobile	poistaa parametrilla määritetyn mobiililaitteen tietorakenteesta. Se palauttaa 1 poiston onnistuessa ja 0 poiston epäonnistuessa.
find_dhcp_mobile	etsii mobiililaitteen tietorakenteesta. Sitä kutsutaan parametrein NAI ja NAI:n pituus. Se palauttaa laitteen paikan tietorakenteessa tai -1, jos laitetta ei löytynyt.

DHCP-keskustelu suoritetaan seuraavalla aliohjelmalla, joka on UDHCP-asiakasohjelman vanha pääohjelma:

udhcp	kutsutaan mobiililaitteen paikan tietorakenteessa osoitavalla parametrilla. Se palauttaa DHCP-palvelimelta saadun IP-osoitteen ja asettaa sen uuteen tietorakenteeseen.
--------------	---

5.5 Kotiagentin muutetut aliohjelmat ja tiedostot

Kotiagentin muokatut tiedostot, aliohjelmat ja niihin tehdyt muutokset on esitelty luvussa lyhyesti. Tarkempi kuvaus koko kotiagentin lähdekoodista löytyy Doxygenillä luodusta referenssimanuaalista [9].

Tiedostoon `ha.h` on lisätty UDHCP:tä varten:

- UDHCP:n käyttämät DHCP-standardin mukaiset tila- ja viestivakiot,
- UDHCP:n käyttämä `client_config`-tietorakenne ja
- vakiot `RENEWIP`, `REQUESTIP` ja `RELEASEIP`.

Tiedostoon `ha.c` on lisätty UDHCP varten:

- globaali tietorakenne `dhcp_mobile_array`,
- UDHCP:n käyttämä tietorakenne `client_config`,
- UDHCP:n käyttämät vakiot ja
- lähes kokonaan UDHCP:n `udhcp.c`:n lähdekoodi tiedoston alkuun.

Tiedoston `ha.c` aliohjelmaan `handle_reg_msg` on lisätty

- mobiililaitteen poistumispyynnön käsittelykohtaan `DHCPRELEASE`-viestin lähetyksellä `udhcp`-aliohjelmalla ja ko. mobiililaitteen poisto tietorakenteesta oikeasta kohtaa sekä
- mobiililaitteen rekisteröitymispyynnön käsittelykohtaan mobiililaitteen lisääminen tietorakenteeseen ja IP-osoitteen hakeminen `udhcp`-aliohjelmalla.

Tiedoston `ha.c` aliohjelmasta `validate_request` on poistettu

- IP-osoitteen tarkastaminen, jotta kotiagentti hyväksyy rekisteröintipyynnöt IP-osoitteesta `0.0.0.0`.

Tiedoston `ha.c` aliohjelmasta `udhcp` on muutettu

- UDHCP-asiakasohjelman pääohjelma `udhcp`-aliohjelmaksi osaksi `kotiagenttia` ja
- käsittelemään tietoja tietorakenteesta alkuperäisen yksittäisen toteutuksen globaalien attribuuttien sijaan.

Tiedoston `ha.c` pääohjelmassa `main` on asetettu

- `udhcp_if`-tieto `kotiagentin` asetustietorakenteesta UDHCP:n asetustietorakenteeseen.

Tiedostoon `ha_config.h` on lisätty

- `config`-tietorakenteeseen `dhcp_if`-muuttuja, johon asetetaan DHCP-keskustelun suorittavan verkkokortin nimi.

Tiedoston `ha_config.c` aliohjelmaan `process_load_ha` on lisätty

- UDHCP-parametrin lukeminen `dynhad.conf`-tiedostosta `dhcp_if`-muuttujaan.

Tiedostoon `Makefile` on lisätty

- viitteet UDHCP:n tarvitsemiin tiedostoihin `options.h`, `client_packet.h`, `packet.h`, `script.h`, `socket.h` ja `pidfile.h` sekä em. tiedostojen `c`- ja `o`-tiedostoihin.

5.6 Kotiagenttiin lisätyt tiedostot

Kotiagentin lähdekoodihakemistoon `.../src/ha/` lisättiin UDHCP:n lähdekooditiedostot, header-tiedostot ja object-tiedostot seuraavista tiedostoista `options`, `client_packet`, `packet`, `script`, `socket` ja `pidfile`.

UDHCP-asiakasohjelman lähdekooditiedosto `udhcp.c` liitettiin lähes sellaisenaan osaksi `kotiagentin ha.c`-tiedostoa.

6 Virtuaalinen vierasagentin toteutusratkaisut

Luvussa esitellään virtuaalisen vierasagentin toteutusratkaisut. Virtuaalinen vierasagentti saatiin lähettämään useita liittymis- ja poistumisviestejä verkkoon asetustiedostosta määrättyjen tapahtumien mukaisesti.

Tarkempi kuvaus koko virtuaalisen vierasagentin lähdekoodista löytyy Doxygenillä luodusta referenssimanuaalista [18].

6.1 Tekninen toteutus

Virtuaalisen vierasagenttiin toteutettiin rekisteröintipyynnön ja poistumispyynnön lähettäminen sekä tietorakenne ja tiedostonluku. Virtuaalinen vierasagentti toteutettiin muokkaamalla Dynamicsin mobiililaitetta.

Mobiililaitteen pääohjelma oli aluksi eri tiedostossa, josta normaalisti lähetetään yhden mobiililaitteen viestit (`mn_reg.c`). Mobiilin laitteen pääohjelmaohjelma siirrettiin `mn_reg.c`-tiedostoon. Samaan tiedostoon rakennettiin tietorakenne "virtuaalisille mobiililaitteille" ja tietorakenteen käsittely.

Virtuaaliset mobiililaitteet luetaan tietorakenteeseen `mobiles.txt`-tiedostosta, joka sisältää muuttuvat tiedot kutakin mobiililaitetta kohden. Kaikille virtuaalisille mobiililaitteille samat tiedot luetaan Dynamicsin alkuperäisestä asetustiedostosta `dynamnd.conf`:sta.

6.2 Kehitysaskleet

Ensimmäisessä vaiheessa virtuaalinen vierasagentti saatiin lähettämään yhden liittymispyynnön verkkoon. Tämän toteutusidean pohjalta rakennettiin toiminta, jossa useita liittymis- ja poistumispyyntöjä lähetetään verkkoon tietorakenteen avulla.

Toisessa vaiheessa luotiin tiedoston käsittely, jossa virtuaalisten mobiililaitteiden tiedot luetaan asetustiedostosta ja tallennetaan tietorakenteeseen. Toteutuksen jälkeen virtuaalinen vierasagentti lähetti käyttäjän syöttämällä arvoilla liittymis- ja poistumispyyntöjä verkkoon.

6.3 Käättäminen

Käännettäessä virtuaalinen vierasagentti, on muistettava muuttaa muutama muuttuja tiedostoista. Ohjelma ei käänny ilman muutoksia. Muutokset on esitetty luvuissa 6.4 ja 6.5. Tarkemmat ohjeet kääntämisen on kuvattu howtoinstall-dokumentissa [19].

6.4 Uudet tietorakenteet

Uusia tietorakenteita lisättiin kaksi `mn_reg.c`-tiedostoon. Tiedoston lukuun toteutettiin oma ja virtuaalisille mobiililaitteille oma tietorakenne. Tietorakenteet ovat listoja C:n tietueista.

Virtuaalisten mobiililaitteiden tietorakenne on seuraava:

```
struct mobile{
    struct mn_data mn;
    struct mn_config config;
    int state;
};
```

Tietorakenne muodostetaan rivillä

```
struct mobile mobile_array[500];
```

Lisäksi virtuaalisten mobiililaitteiden lukemiseen liittyy vielä `mobiles`-niminen globaalimuuttuja kertoen, kuinka monta mobiililaitetta luotiin.

Tiedoston luvussa käytettävä tietorakenne on seuraava:

```
struct device {
    char ip_home[17];
    char ip_homeagent[17];
    char ip_careoff[17];
    char nai[32];
    char timestart[3];
    char state[2];
};
```

Laitteiden tiedoista luodaan tietorakenne rivillä

```
struct device devices[500];
```

Tiedoston lukuun liittyy vielä `rownumber`-niminen globaalimuuttuja, joka kertoo kuinka monta riviä tiedostosta luettiin.

Tietuiden muuttujat kuvaavat seuraavia ominaisuuksia:

mn	sisältää Dynamicsin mobiililaitteen tarvitsemat perusasetustiedot.
config	sisältää Dynamicsin mobiililaitteen tarvitsemat perusasetustiedot.
state	on virtuaalisen mobiililaitteen tila, jonka arvo 0 vastaa eroa verkosta, 1 liity verkoon ja 2 suorita kolmanne osapuolen ohjelma.
ip_home	on virtuaalisen mobiililaitteen kotiosoite.
ip_homeagent	on virtuaalisen mobiililaitteen kotiagentin osoite.
ip_careoff	on virtuaalisen mobiililaitteen tilapäisosoite.
nai	on virtuaalisen mobiililaitteen NAI.
timestart	on aika sekunteina, jolloin virtuaalinen mobiililaitte tekee tilan <code>state</code> mukaisen toiminnon.

6.5 Asetustiedosto

Virtuaalisten mobiililaitteiden tiedot sekä niihin liittyvät parametrit luetaan tiedostosta `mobiles.txt`. Tiedoston `mobiles.txt` tietoalkioiden välimerkkinä toimii välilyönti ja riveillä esitettävät tapahtumat erotetaan toisistaan rivivaihdolla. Kunkin rivin parametrit ovat aika sekunneissa, toiminto (0=eroa verkosta, 1=liity verkoon ja 2=kolmannen osapuolen ohjelma), kotiosoite, kotiagentin osoite, tilapäisosoite ja NAI.


```
1 1 192.168.0.45 192.168.0.1 172.168.0.1 zormal@jyu.fi
2 1 192.168.0.25 192.168.0.1 172.168.0.1 zorma2@jyu.fi
3 2 thirdpartyprogram --parameter
5 0 192.168.0.45 192.168.0.1 172.168.0.1 zormal@jyu.fi
10 0 192.168.0.35 192.168.0.1 172.168.0.1 zorma2@jyu.fi
```

Yo. mukainen ohjelman ajo suorittaisi aluksi kahden laitteen liittymisviestin lähettämisen. Tämän jälkeen suoritetaan kolmannen osapuolen ohjelma. Ajan hetkellä 5 lähetetään ensimmäisen laitteen poistumisviesti ja tämän jälkeen lähetetään 5 (10-5) sekunnin päästä toisen laitteen poistumisviesti.

6.6 Lisätyt aliohjelmat

Tiedostoon `mn_reg.c` lisättiin tiedoston lukua varten seuraavat aliohjelmat:

readfile	lukee parametrilla määritetyn asetustiedoston sisällön rivi kerrallaan taulukkoon. Se palauttaa 1 tiedoston luvun onnistuessa ja -1 epäonnistuessa.
parse_rows	lukee määritetyiltä riveiltä arvot muuttujiin. Se palauttaa 1 tiedoston rivien luvun onnistuessa ja -1 epäonnistuessa.

Tiedostoon `mn_reg.c` lisättiin tietorakenteen käsittelyä ja viestien lähettämistä varten seuraavat aliohjelmat:

mn_init	lukee Dynamicsin mobiililaitteen perusasetustiedot. Palauttaa 1 tehtävän onnistuessa ja -1 epäonnistuessa.
create_mobile	luo asetustiedoston mukaiset virtuaaliset mobiililaitteet <code>mobile_array</code> -tietorakenteeseen.
send_messages	lähettää määritellyn aikavälin ja virtuaalisen mobiililaitteen tilan mukaisesti joko rekisteröitymis- tai poistumisviestin.

Tiedostoon `mn_reg.c` on lisätty seuraava uusi pääohjelma:

main	alustaa laitteet ja lähettää asetustiedoston mukaiset viestit.
-------------	--

Tiedostoon `net/wireless.h` on lisätty määrittely:

```
ifnamsiz      define ifnamsiz 16 tiedoston alkuun, jotta ohjelma kääntäisi.
```

6.7 Muutetut aliohjelmat

Tiedostossa `mn.c` on muutettu aliohjelma:

```
main          vaihtamalla sen nimi main_old:ksi.
```

Tiedostossa `dyn_wireless.c` on vaihdettu muuttujan:

```
ifr_name      nimeksi u.name johtuen tietueen iwreq muuttumisesta.
```

7 Testaus

Luvussa kuvaataan DHCP-tuen testausta ja testauksessa ilmeneviä ongelmia Dynamo-verkossa ja tilaajan verkossa.

7.1 Testaus toteutusvaiheessa

Dynamics-protokollaa testattiin Dynamo-verkossa kunkin lähdekoodin muutoksen jälkeen. Yksikkö- ja integraatiotestausta suoritettiin koko sovelluskehityksen ajan, joten yllätyksiä järjestelmätestauksen testeuseroilla ei tullut. Dynamicsin kotiagentin, vierasagentin ja mobiilin laitteen toimivuutta ei voitu testata irrallisina, koska Dynamics-projektista puuttuivat projektitiedostot, joita tarvitaan ohjelmakoodin kääntämiseen kehitystyökalussa. Projektitiedostojen puuttuminen aiheutti testausverkon pystyttämisen ja jatkokehittämisen testausverkossa. Testauverkon rakenne ja testitapukset on esitelty tarkemmin testausuunnitelmassa [11].

Sovellusta testattiin koko kehityshistorian ajan hyödyntäen tekstipohjaista GDB-debuggeria ja WireSharkpakettikaapparia. Testausympäristön ongelmana oli muuttujien arvojen lukeminen. Se oli työlästä ja hidasta komentoriviargumenttien pohjalta toimivalla GDB-debuggerilla. Apuna käytettiin välitulostuksia, joiden avulla selvitettiin sovelluksen lähdekoodin toimintaa ja rakennetta.

7.2 Testaus Dynamo-verkoissa

DHCP-tuen testaukset Dynamo-verkossa tehtiin yksikkö-, integraatio- ja järjestelmätestitasolla. Testaus suoritettiin liittämällä kahta mobiililaitetta verkkoon ja poistamalla niitä verkosta. Kumpikin kone sai IP-osoitteen kotiagentilta, jos liittämispyyntö tehtiin eri aikoihin. Kun laitteet liitettiin verkkoon nopeasti peräkkäin, vain toinen laite sai osoitteen. Em. ongelmaksi paljastui vierasagentin toiminta. Se ei pysynyt liittämispyyntöjen vauhdissa mukana. DHCP-tuen testaukset on esitelty tarkemmin testausraportissa [12].

Ongelmia esiintyi myös testauverkon reititystauluissa. Testausympäristön vierasagentti ei lähettänyt paketteja oikein eteenpäin kotiverkosta vierasverkkoon tai vierasverkosta kotiverkkoon. Vierasagentti pystyi kuitenkin lähettämään dataa mobiili-

lilaitteille ja mobiililaitteet vierasagentille. Tekninen ohjaaja oli ratkomassa em. ongelmaa, mutta ratkaisua ei löytynyt. Ongelma saattoi olla myös vierasagentin asetuksissa. Tämä ongelma selvitettiin testatessa DHCP-tukea tilaajan verkossa.

Kolmas ongelmana ilmeni mobiililaitteen poistuessa verkosta. DHCP-tuki generoi oikeanlaisen DHCPRELEASE-viestin ja lähetti sen verkkoon, mutta viesti ei löytänyt perille. Ongelma selvisi tilaajan testatessa tilaajan verkossa.

Virtuaalista vierasagentin testauksessa ei ilmennyt ongelmia. Virtuaalisen vierasagentin testit on luettavissa testiraportista [20].

7.3 Testaus tilaajan verkossa

Testauksessa tilaajan verkossa haluttiin selvittää kohdat, jotka aiheuttivat virheitä Dynamo-verkossa testattaessa.

Ensimmäisellä testauksella tilaajan verkossa Dynamicsin asentaminen verkon laitteisiin aiheutti ongelmia. Ongelmina oli Dynamicin kääntäminen ja `makefile:n` teko. Ensimmäisen testaukserran ongelmaksi paljastui väärä SPI-arvo mobiililaitteessa ja väärät asetukset reititystauluissa verkossa. Ongelma saatiin ratkaistua, mutta testitapausta ei saatu tehtyä. Em. valttämisesti jatkossa kirjoitettiin Dynamisin asennusohjeet [19].

Toisella testauksella työtä teetti verkon oikeiden asetusten löytäminen. Ongelmana oli Ciscon mobiililaitteen asiakasohjelman toiminta. Asiakasohjelma asennettiin uudestaan puhtaalle koneelle ja testitapaukset saatiin tehtyä.

DHCPRELEASE-paketin lähettäminen ei onnistunut tilaajankaan verkossa ja ongelmaksi ilmeni vika lähdekoodissa. Paketin lähettäjäksi laitetaan mobiililaitteen osoite, vaikka sen pitäisi olla kotiagentin osoite. Tämän virheen korjaaminen kirjattiin jatkokehitystavoitteeksi. Muutama testitapausta jäi tekemättä, koska virheellisillä tiedoilla varustettuja paketteja ei saatu luotua tilaajan verkossa. Testidata on luettavissa kotiagentin testaus tilaajan verkossa -dokumentista [21]

Virtuaalista vierasagenttia ei testattu, koska sen toteutetut toiminnot osoittautuivat luotettavasti toimiviksi jo Dynamo-verkossa testattaessa.

8 Jatkokehityksen tavoitteet

Luvussa esitellään DHCP-tuen ja virtuaalisen vierasagentin jatkokehitystavoitteet. Jatkokehitystavoitteet periytyvät vaatimusmäärittelyn [8] vaatimuksista, joiden tila on **ei toteuteta**. Tärkeimmäksi jatkokehityskohteiksi katsottiin säikeistykseen luomisen DHCP-keskusteluun.

8.1 DHCP-tuen jatkokehitys

DHCP-kutsun ajaminen omassa säikeessä nopeuttaa sovelluksen muuta toimintaa, sillä kotiagentin toiminta ei keskeydy DHCP-kutsun ajaksi. Ilman säikeistystä virtuaalista vierasagenttia ei voida käyttää kuormituksen testaustyökaluna, jos kotiagenttina on Dynamicisin kotiagentti.

DHCP-keskustelun säikeistys ei toteutunut, koska Dynamicsissa suurin osa sovelluksen muuttujista on omissa aliohjelmissa, eikä globaaleina muuttujina. Tällöin Dynamicsiin tulleisiin pakettien sisältöön pääsee käsiksi vain aliohjelmasta, jossa pakettien sisällön käsittely on alunperin toteutettu. Dynamicisin pääohjelmasta ei pääse käsiksi kaikkiin tarvittaviin muuttujiin, joiden tietoja säikeistykseen luominen vaatii. Aliohjelmien muuttujien kopiointi pääohjelmaan ei onnistunut, koska aliohjelmien tietorakenteiden sisällä oli osoittimia toisiin tietorakenteisiin, joissa taas oli osoittimia edelleen toisiin tietorakenteisiin. Tietorakenteita Dynamicin kotiagentissa on kymmeniä.

Em. ongelman olisi voinut ratkaista lisäämällä jokaiseen aliohjelmaan funktion, joka kopioi aliohjelman lokaalit muuttujat globaaleihin muuttujiin. Tämän idean pohjalta koko Dynamicisin perusrakennetta olisi pitänyt muuttaa. Muutos olisi johtanut siihen, että jokainen globaalien muuttujien käsittely oli pitänyt suojata lukooilla. Säikeistykseen toteutus tämän idean pohjalta nähtiin liian työlääksi toteuttaa Dynamo-projektissa.

Toinen DHCP-tukee liittyvä jatkokehitys on DHCPRELEASE -viestin lähettäminen oikeilla tiedoilla DHCP-palvelimelle. DHCPRELEASE -paketin lähettäjäksi laitetaan nyt mobiililaitteen osoite, vaikka sen pitäisi olla kotiagentin osoite.

8.2 Muut kotiagentin jatkokehitysideat

Muita jatkokehitysideoita on kolme. Dynamicsin kotiagentin tulee antaa mobiililaitteelle kotiosoite dynaamisesti tai staattisesti riippuen mobiililaitteen kotiosoitte- kentästä. Kotiagenin asetustiedostosta voisi valita, että käytetäänkö staattista vai dynaamista kotiosoitetta. Mobiililaitteen NAI sidottaisiin kotiagentissa määriteltävään SPI-arvoon. Tällä toteutuksella lisättäisiin Dynamicsin tietoturva.

8.3 Virtuaalisen vierasagentin jatkokehitys

Virtuaalisen vierasagentin tärkein jatkokehitystavoite on, että virtuaalinen vierasagentti lukisi asetukset komentoriviargumenteista ja muodostaisi niiden pohjalta asetustiedoston. Vaatimuksen toteutuminen nopeuttaisi virtuaalisen vierasagentin käyttöä. Lisäksi virtuaaliseen vierasagenttiin pitäisi toteuttaa toiminto, jossa asetustiedoston avulla voitaisiin käynnistetään kolmannen osapuolen ohjelmia, joilla kuormitettaisiin verkkoa.

Virtuaaliseen vierasagenttiin pitäisi myös kerätä tilastotietoja lähetetyistä ja vastaanotetuista viesteistä. Tilastotietojen keruun toteutuessa virtuaalisen vierasagentin käyttö IPv4 -verkon testaustyökaluna olisi täydellinen tietoliikenneasiantuntijalle. Em. ominaisuuden toteuttaminen vaatii pakettien vastaanotton muokkaamisen Dynamicsin mobiilin päätelaitteen lähdekoodiin.

8.4 Dynamicsin rakenne ja kommentointi

Verrattaessa Dynamicsin ohjelmakoodia UDHCP-koodiin, Dynamicsin rakenne on sekava. Dynamicsin ohjelmakoodia ole kommentoitu kattavasti, eikä ohjelman rakennetta ole dokumentoitu riittävästi. Koodin kommentoinnin puutteet ja ohjelman sekava rakenne aiheuttavat varmasti ongelmia jatkokehityksessä.

C-kielen käyttö aiheuttaa työtä sellaisissa ongelmissa, jotka kehittyneimmissä ohjelmointikielissä vaativat vain hetken työn. Mm. osoittimet ja tietueiden kopioinnit ovat C-kielessä työläitä käsitellä.

Dynamicsin kotiagentin viestinvälitys kannattaisi eriyttää muusta Dynamicisin toiminnasta. Eriyttämisen avulla kotiagentin lähdekoodi saataisiin omiin kokonaisuuk-

siin ja siten paremmin muunneltaviksi.

Dynamisin jatkokehitystä voidaan suositella henkilöille, joilla on C-kieliosaamista ja tietämystä säikeiden toteuttamisesta C-ympäristössä.

9 Yhteenveto

Dynamo-projekti suunnitteli ja toteutti Dynamicsiin tarvittavat muutokset, jotta Dynamics vastaa paremmin Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitoksen ja LaiLa-projektin tarpeita. Sovellus toteutettiin Linux-alustalla ja C-kielellä olemassaolevan Dynamics-sovelluksen lähdekoodia hyödyntäen.

Projektin tärkein tavoite DHCP-tuen lisääminen kotiagenttiin saatiin toteutettua säikeistystä lukuunottamatta. Virtuaalinen vierasagentti oli tavoitteena toteuttaa ainakin vaatimusten määrittelyn ja suunnittelun osalta sekä ohjelmoida ajan salliessa. Virtuaalinen vierasagentti saatiin lähettämään useita liittymis- ja poistumisviestejä verkkoon asetustiedostosta määrättyjen tapahtumien mukaisesti.

Sovellukseen jatkokehitetty osat testattiin Dynamo -verkossa ja tilaajan verkossa. Testauksessa huomattiin virhe, jotka lisättiin jatkokehitys ideoihin. Tärkeimmäksi jatkokehityskohteiksi katsottiin säikeistyksen luominen DHCP-keskusteluun, mikä avulla kotiagentin toimintaa voidaan nopeuttaa.

Lähteet

- [1] Droms R., "Dynamic Host Configuration Protocol", RFC 1531 , Bucknell University, October 1993.
- [2] Perkins C., "IP Mobility Support", RFC 2002, IBM, October 1996.
- [3] Droms R., "Dynamic Host Configuration Protocol", RFC 2131, Bucknell University, November 1997.
- [4] Perkins C., "IP Mobility Support for IPv4", RFC 3344, Nokia Research Center, August 2002.
- [5] Teknillinen korkeakoulu, Tietoliikennearkkitehtuurit-kurssin materiaali, 2003.
- [6] Andersson B., "Dynamics, Technical Definition", Helsinki University of Technology, April 1999.
- [7] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., Dynamo-projekti, Projektisuunnitelma, Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, lokakuu 2007.
- [8] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., Dynamo-projekti, Vaatimusmäärittely, Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, marraskuu 2007.
- [9] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo Reference Manual", Doxygen generated, November 2007.
- [10] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo-projekti, Projektiraportti", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [11] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo-projekti, Testaussuunnitelma", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [12] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo-projekti, DHCP-tuen testaus Dynamo-verkko", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [13] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo DHCP Support State Machine", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [14] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Changes.html -muutosdokumentti", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007

- [15] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Kotiagentin Doxygen-dokumentti", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [16] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Virtuaalisen vierasagentin Doxygen-dokumentti", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [17] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo-projekti, Testauraportit tilaajan verkko", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [18] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Virtuaalisen vierasagentin Doxygen-dokumentti", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [19] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "howtoinstall", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [20] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo-projekti, Virtuaalisen vierasagentin testaus Dynamo-verkko", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007
- [21] Häätinen T., Pyykkönen A. ja Purojärvi J., "Dynamo-projekti, Kotiagentin testaus tilaajan verkossa", Jyväskylän yliopiston tietotekniikan laitos, joulukuu 2007