

AVOIMEN LÄHDEKOODIN  
PUHELINKESKUSSOVELLUSTEN  
IMPLEMENTAATIO

Pasi Hulkko

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014

Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Hulkko, Pasi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 13.05.2014
	Sivumäärä 67 + 23	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi AVOIMEN LÄHDEKOODIN PUHELINKESKUSSOVELLUSTEN IMPLEMENTAATIO		
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Saharinen, Karo Kotikoski, Sampo		
Toimeksiantaja(t) Ilmasotakoulu		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Ilmasotakoulu. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa laboratorioympäristössä kaksi puhelinvaihdetta. Puhelinvaihdesevellusten tuli pohjautua avoimeen lähdekoodiin. Toteutukseen kuului myös asennuksen ohjeistuksen laadinta toimeksiantajaa varten, jolla toteutuksen kaltaisen järjestelmän pystyisi toteuttamaan eri ympäristössä.</p> <p>Työssä tutustuttiin piiri- ja pakettikytkentäisten verkkojen toimintaan puheluiden välityksessä sekä SIP-protokollan toimintaan, joka mahdollistaa eri valmistajien laitteiden ja sovelluksien käytön samassa ympäristössä.</p> <p>Käytännön osiossa tutustuttiin FreePBX ja FreeSWITCH sovelluksien käyttöönottoon sekä asennukseen ja niin kutsutun euroISDN-linjan asetuksiin ja käyttöön. Puhelinvaihteet yhdistettiin niin Ethernet-verkon läpi kuin myös euroISDN-linjaa käyttäen.</p> <p>Lopputuloksena laboratorioympäristössä saatiin toteutettua puheluiden kuljetus molempia siirtoteitä käyttämällä sekä vertailtua eri puhelinvaihdesevellusten käyttöönottoa. Lisäksi yhtä sovellusta käyttäen laadittiin toimeksiantajan haluamat ohjeet.</p>		
Avainsanat (asiasanat) FreePBX, FreeSWITCH, ISDN, PBX, VOIP		
Muut tiedot		



Author(s) Hulkko, Pasi	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 13.05.2014
	Pages 67 + 23	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title IMPLEMENTATION OF OPEN SOURCE PBX.		
Degree Programme Information Technology		
Tutor(s) Saharinen, Karo Kotikoski, Sampo		
Assigned by Air Force Academy		
Abstract <p>This bachelor's thesis was assigned by the Air Force Academy. The goal of this thesis was to design and implement two public branch exchanges in laboratory environment. They should be based on open source software. One part of this thesis was to make an installation guide for the Air Force Academy.</p> <p>This thesis examines circuit switched and packet switched networks in transporting telephone calls. SIP protocol is also examined, as it enables the use of multiple manufacturers' products in one environment.</p> <p>FreePBX and FreeSWITCH software were tested in this thesis and installation and configuration of these products were evaluated. PBXs were connected using Ethernet and euroISDN connections.</p> <p>As the conclusion of this thesis, the laboratory environment was established and PBX software was tested using both connection types. Both installation and configuration were assessed. Finally one software was chosen and an installation guide was made using that product.</p>		
Keywords FreePBX, FreeSWITCH, ISDN, PBX (private branch exchange), VOIP		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>Lyhenteet .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Lähtökohdat.....</b>	<b>6</b>
1.1 Toimeksiantaja.....	6
1.2 Tavoitteet .....	6
<b>2 Puheenvälitys tietoliikenteessä.....</b>	<b>7</b>
2.1 Piirikytkentäinen tekniikka .....	7
2.1.1 Yleistä .....	7
2.1.2 G.703 .....	8
2.1.3 HDB3.....	9
2.1.4 Digitaalinen puhelinverkko, PDH- ja SDH-siirtojärjestelmät .....	10
2.1.5 ISDN .....	12
2.2 Pakettikytkentäinen tekniikka .....	12
2.2.1 Yleistä .....	12
2.2.2 Voice over Internet Protocol.....	13
2.2.3 Session Initiation Protocol.....	14
2.2.4 SIP URI .....	15
2.2.5 SIP-sanomat.....	15
2.2.6 SIP Trunking.....	17
2.2.7 Session Description Protocol.....	17
2.2.8 Real Time Transport Protocol .....	18
2.2.9 Äänen koodaus.....	20
2.2.10 Viive .....	21
2.2.11 QoS .....	22
<b>3 Puhelinvaihteet.....</b>	<b>23</b>
3.1 Yleistä.....	23
3.2 PSTN.....	24
3.3 VoIP-PBX .....	24
3.4 FreePBX.....	24
3.5 FreeSWITCH .....	25
3.6 Asterisk .....	25
<b>4 Käytännön toteutus.....</b>	<b>26</b>
4.1 Lähtökohdat ja esivalmistelut.....	26
4.2 Työssä käytettävät laitteet .....	28
4.2.1 Avaya 4621SW IP puhelin.....	28
4.2.2 Sangoma A104 väyläkortti .....	28
4.3 Työn vaiheet ja kulku .....	30

4.3.1	FreePBX asennus ja konfigurointi .....	30
4.3.2	TFTP ja puhelimen firmware päivitys .....	35
4.3.3	Puhelinvaihteiden yhdistäminen SIP trunkilla .....	35
4.3.4	WANPIPE asennus ja konfigurointi .....	39
4.3.5	FreePBX Distro.....	42
4.3.6	DAHDI Trunk konfigurointi .....	43
4.3.7	FreeSWITCH asennus .....	45
<b>5</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>49</b>
5.1	CentOS ja ajuriongelma .....	49
5.2	SIP puhelu ja trunk.....	51
5.3	euroISDN-linjan toiminta FreePBX Distrolla .....	58
5.4	FreeSWITCH konfigurointi .....	61
<b>6</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>64</b>
6.1	Tavoitteiden saavutus.....	64
6.2	Sovelluksen valinta .....	64
6.3	Tulevaisuus .....	65
	<b>Lähteet .....</b>	<b>66</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>68</b>
	Liite 1. SW1 konfiguraatio .....	68
	Liite 2. PBX1 wanpipe1.conf konfiguraatitiedosto.....	71
	Liite 3. PBX2 wanpipe1.conf konfiguraatitiedosto.....	73
	Liite 4. FreePBX asennusohje. ....	75

## Kuviot

Kuvio 1.	E12-luokan pulssimaski .....	9
Kuvio 2.	HDB3-linjakoodaus .....	10
Kuvio 3.	RTP-paketti .....	18
Kuvio 4.	RTCP-paketti .....	19
Kuvio 5.	RTCP ja SSRC .....	20
Kuvio 6.	Toimeksiantajan määrittämän ympäristön kuvaus.....	26
Kuvio 7.	Verkon looginen topologia .....	27
Kuvio 8.	Avaya 4621SW .....	28
Kuvio 9.	Sangoma A104 .....	29
Kuvio 10.	Ristiinkytketyn kaapelin johtimien järjestys .....	29
Kuvio 11.	FreePBX ensimmäinen kirjautuminen.....	31
Kuvio 12.	FreePBX paneelin valinta.....	31
Kuvio 13.	Network Settings .....	32
Kuvio 14.	Virtual Interface.....	33
Kuvio 15.	Extensionin lisääminen.....	33
Kuvio 16.	SIP Extension .....	34

Kuvio 17. SIP testausympäristön fyysinen topologia .....	36
Kuvio 18. Add a Trunk .....	36
Kuvio 19. SIP Trunk asetukset .....	37
Kuvio 20. SIP Trunk tunnistautuminen.....	38
Kuvio 21. Outbound route asetukset .....	38
Kuvio 22. WANPIPE asennus skripti .....	40
Kuvio 23. Rajapinnan konfigurointi .....	41
Kuvio 24. FreePBX Installation .....	42
Kuvio 25. DAHDI Config .....	43
Kuvio 26. DAHDI Trunk .....	44
Kuvio 27. Outbound route euroISDN-linjalle .....	45
Kuvio 28. Sangoma ajuripino.....	46
Kuvio 29. FreeSWITCH käynnissä .....	48
Kuvio 30. FreeSWITCH 1000.xml .....	49
Kuvio 31. PBX1 virheilmoitukset .....	50
Kuvio 32. PBX2:n wanpipemon-diagnostiikka.....	51
Kuvio 33. Strong secrets asetus.....	52
Kuvio 34. ARP kysely.....	53
Kuvio 35. SIP kutsu .....	53
Kuvio 36. SIP kutsun SDP-osio .....	54
Kuvio 37. SIP 200 OK viesti .....	54
Kuvio 38. RTP-paketti puhelimelta 1 .....	55
Kuvio 39. SIP 644 BYE-pyyntö.....	55
Kuvio 40. RTCP Goodbye .....	56
Kuvio 41. FreePBX paneeli puhelun ollessa käynnissä.....	57
Kuvio 42. SIP peers .....	58
Kuvio 43. Wanrouter status yhteyden ollessa toiminnassa.....	59
Kuvio 44. Järjestelmän ilmoituksia.....	59
Kuvio 45. Kanavien tila .....	60
Kuvio 46. Kanavan 1 käyttö .....	61
Kuvio 47. Asennuksen virheilmoitus .....	62
Kuvio 48. FreeSWITCH panel .....	62
Kuvio 49. FreeTDM tilatietoja .....	63

## Taulukot

Taulukko 1. Virtual Container luokat ja nopeudet.....	11
Taulukko 2. SIP-vasteet .....	16
Taulukko 3. Osoitteistus .....	27
Taulukko 4. Wanpipe asetukset .....	41
Taulukko 5. Puhelinnumeroiden allokointi .....	52

## Lyhenteet

<b>AMI</b>	Alternate Mark Inversion
<b>ARP</b>	Address Resolution Protocol
<b>CPE</b>	Customer-premises Equipment
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>CRC</b>	Cyclic redundancy check
<b>EDSS1</b>	European Digital Subscriber Signaling System no.1
<b>EPEL</b>	Extra Packets for Enterprise Linux
<b>FQDN</b>	Fully Qualified Domain Name
<b>GUI</b>	Graphical User Interface
<b>HDB3</b>	High Density Bipolar 3-zeroes
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IVR</b>	Interactive Voice Response
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network
<b>LTS</b>	Long Term Support
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>N-CRC</b>	Non-Cyclic Redundancy Check
<b>PABX</b>	Private Automated Branch Exchange
<b>PBX</b>	Private Branch Exchange
<b>PCM</b>	Pulse Code Modulation
<b>PoE</b>	Power Over Ethernet
<b>POH</b>	Path Over-head
<b>POTS</b>	Plain Old Telephone Service
<b>PRI</b>	Primary Rate ISDN
<b>RFC</b>	Request for Comments
<b>RR</b>	Receiver Report

<b>RTP</b>	Real-time Transport Protocol
<b>RTCP</b>	Real-time Transport Control Protocol
<b>SDES</b>	Source Description
<b>SDP</b>	Session Description Protocol
<b>SR</b>	Sender Report
<b>SSH</b>	Secure Shell
<b>SSRC</b>	Synchronization Source Identifier
<b>SIP</b>	Session Initiation Protocol
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TDM</b>	Time Division Multiplexing
<b>UA</b>	User Agent
<b>UAC</b>	User Agent Client
<b>UAS</b>	User Agent Server
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>URI</b>	Uniform Resource Identifiers
<b>VC</b>	Virtual Container
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol
<b>XML</b>	Extensible Markup Language

# 1 Lähtökohdat

## 1.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimi Ilmasotakoulu, joka on ilmavoimien komentajan alainen puolustushaarakoulu. Sen vastuulla on ilmavoimien ja ilmatorjunnan johtamisjärjestelmien, elektronisen sodankäynnin, ilmapuolustushenkilöstön ja ilmavoimien erikalustojärjestelmien koulutus. Koulutustehtävien ohella Ilmasotakoulu vastaa Luonetjärven varuskunnan huollosta ja poikkeusolojen valmiustehtävistä. (Ilmasotakoulu 2009.)

## 1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli toteuttaa kaksi avoimeen lähdekoodin ohjelmistoon perustuvaa VoIP-puhelinvaihdetta laboratorioympäristössä. Toimeksiantaja oli nimennyt kaksi puhelinvaihdesovellusta joihin tulee tutustua, FreePBX ja FreeSWITCH. Puhelinvaihteet yhdistettiin 2 Mbit/s euroISDN väylillä toisiinsa. Lisäksi puhelinvaihteiden toiminnallisuutta testattiin VoIP-puhelimilla, jotka kytkettiin puhelinvaihteisiin käyttäen Ethernet-lähiverkkoa.

Toimeksiantaja edellytti toteutuksen lisäksi ohjeistuksen luontia, joka mahdollistaa tässä työssä toteutetun kaltaisen asennuksen ja konfiguroinnin suorittamisen. Ohjeistus tehtiin tässä työssä parhaaksi vaihtoehdoksi katsottua kokonaisuutta käyttäen. Toimeksiantaja oli myös määrittänyt, että konfiguroinnin tulee ensisijaisesti tapahtua graafista käyttöliittymää käyttäen, sekä puhelinvaihteena toimivien tietokoneiden tulee toimia CentOS käyttöjärjestelmän 64 bittisellä versiolla 6 tai uudemmalla.

## 2 Puheenvälitys tietoliikenteessä

### 2.1 Piirikytkentäinen tekniikka

#### 2.1.1 Yleistä

Piirikytkentäisen verkon nimitys pohjautuu puhelinverkkojen historiaan, jolloin soittajan ja vastaanottajan välille luotiin suora sähköinen yhteys eli sähköisen piirin. Yhteyden aikana osapuolten välillä oli siis suora yhteys jota voitaisiin verrata tänä päivänä VPN tunneliin. Yhteys on kuin tunneli, jossa on vain kaksi päätä: soittaja ja vastaanottaja. Verkko ei yleensä ota kantaa mitä tässä tunnelissa kulkee vaan se välittää jokaisen bitin päästä toiseen. Jos haluttiin yhteys toiseen vastaanottajaan, tuli luoda uusi tunneli eli sähköinen piiri näiden kahden välille. (Saarelainen 2011, 58.)

Analoginen liitäntä puhelinverkkoon tunnetaan nimellä POTS, Plain Old Telephone Service. Puhe siirtyi analogisesta puhelimesta sähköisenä signaalina operaattorin puhelinkeskukseen. Siellä se muunnettiin digitaaliseksi ja kuljetettiin PDH tai SDH siirtojärjestelmää pitkin seuraavalle keskukselle, josta se lähetettiin jälleen analogisena vastaanottajan puhelimeen. (Mts. 65.)

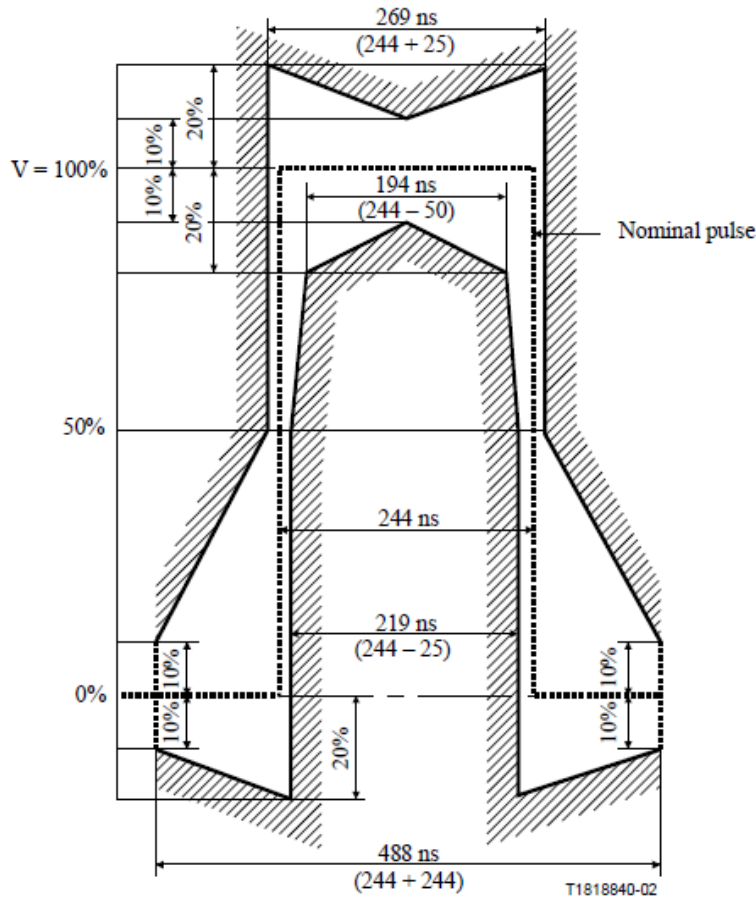
Nykymuodossaan piirikytkentäisessä verkossa yksi tunnelin kaltainen kanava on nopeudeltaan tyypillisesti 64 kbit/s. Kanavan nopeus perustuu puhelinliikenteessä siirrettävän tiedon määrään. Puheesta otetaan näyte 8000 kertaa sekunnissa ja jokaista näytettä kuvataan kahdeksalla bitillä. Nämä kertomalla keskenään saadaan 64 000 bittiä eli 64 kilobittiä per sekunti. Kanavia voidaan niputtaa, jolloin yhteyden nopeudeksi saadaan 64 kbit/s monikerta kuten 2 Mbit/s (32 kertaa 64 kbit/s). Jotta kanavat saadaan niputettua yhteen, joudutaan käyttämään multipleksointia. Multipleksoinnin tarkoituksena on kuljettaa useampia kanavia yhden fyysisen yhteyden eli niin sanotun runkoyhteyden yli. Aikajakoinen multipleksointi, TDM, jakaa käytettävän yhteyden aikajaksoihin. Jokaiselle kanavalle annetaan yksi tai useampi ajanjakso, jolla se pääsee lähettämään. Kun kaikki määritellyt ajanjaksot on käyty läpi, aloitetaan kierros uudelleen. Jotta kaikki kanavat saadaan kuljetettua, tulee runkoyhteyden olla

vähintään yhteyksien suuruinen tiedonsiirtokapasiteetiltaan. (Saarelainen 2011, 58–59.)

Piirikytkentäisen verkon etuihin lukeutuu siirtonopeuden tasaisuus, pienet viiveet sekä se, että yhteys ei välitä siirrettävästä sisällöstä tai käytettävästä protokollasta. (Mts. 61.)

### **2.1.2 G.703**

G.703 on osa ITU-T:n standardeja äänen ja datan kuljettamiseen yhteyden yli eli se on siis yksi osa G-sarjan standardeja. G.703 määrittää niin sanotun E0-luokan yhteyden (64 kbit/s) nopeuden, yhteyden fyysiset ominaisuudet ja signaalin sähköiset ominaisuudet. Tämän lisäksi se määrittää E0:n kerrannaiset sekä kuvaa käytettävät linjakoodaukset. G.703 standardin E12-luokan eli 2048 kbit/s yhteyden määritelmässä linjakoodaus tehdään käyttämällä HDB3-koodausta. Yhteyden nimellinen nopeus on siis 2048 kbit/s jossa mittausvirheenä sallitaan  $\pm 102,4$  bit/s. Parikaapelia käytettäessä pulssin jännitehuippu tulisi olla 3 voltia ja nollassa  $0 \pm 0.3$  voltia. Pulssin nimellispituus tulisi olla 244 nanosekuntia. Kuviossa 1 on kuvattu standardin mukainen pulssimaski, jonka sisällä tulee olla linjassa käytetyn pulssin. Maski asettaa aikarajat pulssille sekä maksimiarvon jännitteen korkeimmalle huipulle. (ITU-T G.703 2001.)



NOTE - V corresponds to the nominal peak value.

Kuvio 1. E12-luokan pulssimaski (ITU-T G.703 2001.)

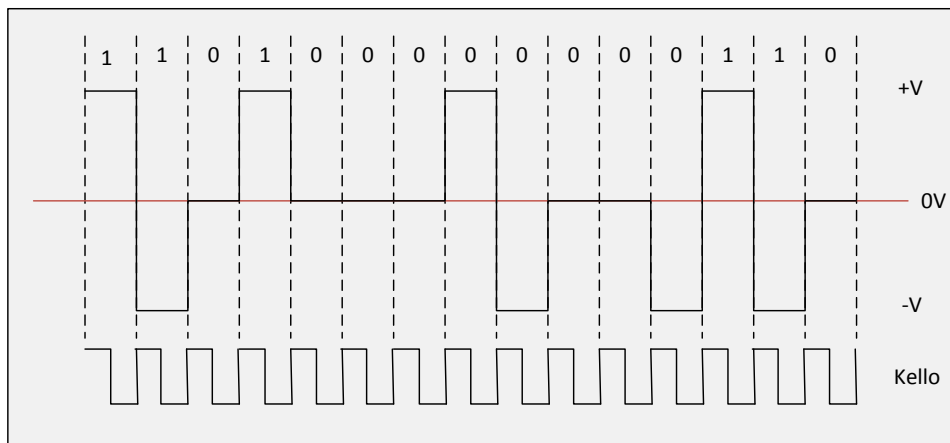
### 2.1.3 HDB3

HDB3, High Density Bipolar 3-zeroes, on tietoliikenteessä käytettävä linjakoodaus. Se perustuu AMI-koodaukseen ja on laajalti käytössä Euroopassa sekä Japanissa. Suurin ero AMI-koodaukseen löytyy HDB3:n tavasta käsitellä tilannetta, jossa lähetetään useampi 0-bitti peräkkäin. Koodauksessa tarkastellaan linjan jännitetasoa jokaisella kellopulsilla. (Granlund 2007, 139 – 140.)

Kun lähetetään 1-bitti, nousee linjan jännite positiiviseksi ja seuraavan 1-bitin kohdalla se lasketaan negatiiviseksi. Näin voidaan erotella kaksi peräkkäistä 1-bittiä. 0-bitin lähetys tapahtuu asettamalla linja jännitteettömäksi eli linjan jännite on 0 voltia. Siirrettäessä neljä 0-bittiä peräkkäin, muutetaan neljännen bitin kohdalla jännitettä. Muutoksesta aiheutuu suuntavirhe, sillä suunta on sama kuin edellisellä 1-bitillä.

Näin havaitaan, että kyseessä on 0-bittien ketju eikä 1-bitti. Edellisen 1-bitin ollessa positiivinen, on neljän peräkkäisen 0-bitin viimeisen bitin jännite myös positiivinen. Kun 0-bittejä lähetetään enemmän kuin seitsemän peräkkäin, esitetään seuraavat neljä bittiä kuviolla, jossa ensimmäisen ja viimeisen bitin jännite on negatiivinen kahden keskimmäisen ollessa nollassa. Tilanteessa, jossa ensimmäisen neljän 0-bitin kuvion viimeinen bitti on esitetty negatiivisella jännitteellä, on jälkimmäisen nelikon negatiiviset jännitteet vaihdettava positiivisiksi. (Mts.139-140.)

Kuviossa 2 on esitetty sarja bittejä, jossa on kahdeksan 0-bittiä peräkkäin sekä näiden kuvaus linjan jännitteillä. HDB3-koodauksen etuihin lukeutuu tahdistuksen ylläpito, sillä jännitetasot vaihtelevat tiheämmin eikä linjalle pääse syntymään pitkää ajanjaksoa, jolloin jännitetasot olisivat muuttumattomat. Linjan ollessa pitkään yhdessä jännitteessä syntyy tasavirtakomponentti, joka voi aiheuttaa virheen hidastamalla seuraavan jännitteenvaihdon niin hitaaksi, että se voidaan tulkita virheellisesti. Tiheä jännitteiden vaihtelu ehkäisee tätä ongelmaa. (Mts. 140.)



Kuvio 2. HDB3-linjakoodaus

#### 2.1.4 Digitaalinen puhelinverkko, PDH- ja SDH-siirtojärjestelmät

Plesiochronous Digital Hierarchy eli ”melkein synkroninen” hierarkkinen verkko on jo ikääntynyt ja suurilta osin korvattu SDH-tekniikalla. Se otettiin käyttöön digitaalisen puhelinverkon alkuaikoina. PDH-verkossa tietovirrat lomitetaan E1-tasolla 30 kana-

van kehyksiin. E1-taso on siis 2,048 Mbit/s nopeudeltaan. E2-taso on hierarkiassa ylempänä, se pitää sisällään neljä E1-tasoa ja on nopeudeltaan 8,448 Mbit/s. E3-taso on vastaavasti neljä E2-tasoa eli kahdeksan E1-tasoa. E3-taso on nopeudeltaan jo 34,368 Mbit/s. Luokkia on E5-luokkaan asti, jossa on kanavia 7680 kappaletta nopeuden ollessa 565,148 Mbit/s. PDH-verkon ongelmana on tilanne, jossa yksi kanava on E3-tasoisien siirtotien varrella. Koko hierarkia on purettava, jotta tämä yksi kanava saadaan nipusta ulos, jonka jälkeen hierarkia on kasattava uudelleen aina E3-tasolle asti. (Granlund 2007, 349-350.)

Synchronous Digital Hierarchy eli SDH perustuu toiminnaltaan synkroniseen lomitukseen. Tämän tekniikan etuna PDH-tekniikkaan on mahdollisuus irroittaa yksi kanava korkeammasta tasosta purkamatta koko kanavahierarkiaa. SDH-verkossa perusnopeuksista alin luokka on STM-1. Sen nopeus on 155,520 Mbit/s. Seuraava luokka on STM-4, joka pitää sisällään neljä STM-1 luokkaa. STM-16 vastaavasti pitää sisällään näitä 16 kappaletta. Korkein luokka on STM-64 jonka nopeus on 9953,280 Mbit/s ja sisältää siis 64 kappaletta STM-1 luokkia. (Mts. 351.)

SDH-verkossa hyötykuorma siirretään konteissa ja kontteihin lisättäessä loogista polkua kuvaava otsikkotieto (POH) syntyy virtuaalinen kontti VC. Kontissa kulkevan hyötykuorman sisällä kuljetetaan alijärjestelmien yksiköitä kuten esimerkiksi E1-kehysen sisältöä. Näin voidaan siirtää SDH-verkossa PDH-verkon liikennettä. Taulukossa 1 on yleisimmät virtuaalikontit ja niiden siirtonopeudet. Jokainen STM-1 kehys sisältää yhden VC-4-kontin. VC-4-kontin sisällä voidaan tarvittaessa kuljettaa myös pienempiä kontteja. Tällä tavoin ISDN-yhteyden E1-kehys siirtyy SDH-ympäristössä VC-12 kontissa, joka on vuorostaan isomman kontin sisällä. (Mts.353.)

Taulukko 1. Virtual Container luokat ja nopeudet

Kontti	Nopeus
VC-12	2,176 Mbit/s
VC-2	6,784 Mbit/s
VC-3	48,384 Mbit/s
VC-4	149,760 Mbit/s

### 2.1.5 ISDN

Integrated Services Digital Network eli ISDN on tekniikkana jo hivenen vanhentunut, mutta yhä käytössä etenkin yritysten puhelinvaihteiden liittynässä julkiseen puhelinverkkoon. Se käyttää Euroopassa erityistä EDSS1-merkinantoa, josta on johdettu myös nimi euroISDN. ISDN-liittymät jaetaan kahden tyyppiin liittyntöihin, jotka ovat BRI ja PRI. (Saarelainen 2011, 59–67.)

Basic Rate Interface (BRI) sisältää kolme kanavaa. Kaksi 64 kbit/s kanavaa, joilla voidaan siirtää puhetta tai dataa, sekä kolmas kanava merkinantoa varten. Kolmas kanava on nopeudeltaan myös 64 kbit/s. (Mts. 66.)

Primary Rate Interface (PRI) on yleisesti käytetty puhelinvaihteiden liittämiseen puhelinverkkoon. Nopeudeltaan tämä on 2 Mbit/s ja se käyttää 32 kanavaa, joista kukin on nopeudeltaan 64kbit/s, eli E1-tason liittyntä. Kanavista 30 kappaletta kuljettaa puhetta tai dataa ja loput kaksi käytetään merkinantoihin. Liittymiseen voidaan myös käyttää useampia BRI-liittymiä. (Mts. 67.)

## 2.2 Pakettikytkentäinen tekniikka

### 2.2.1 Yleistä

Siirryttäessä pakettikytkentäisiin verkkoihin muuttui verkon luonne yhteydettömäksi. Pakettikytkentäisessä verkossa ei yhdistetä lähettäjä ja vastaanottajaa fyysisellä sähköisellä piirillä eikä yhteydelle varata omaa tiettyä kanavaa, joka on vain sille varattu. Ei ole mitenkään poikkeuksellista, että yhden istunnon kaikki paketit eivät kulje samaa reittiä pitkin päästä päähän, vaan niillä voi olla kaksi tai useampi reitti päiden välillä. Tämä johtuu siitä, että pakettikytkentäisessä verkossa verkon laitteet, kuten esimerkiksi reitittimet ja kytkimet, tekevät päätöksen käytettävästä reitistä itsenäisesti paketti kerrallaan. Yhden yhteysvälin vikaantuessa tai ruuhkautuessa laitteet ohjaavat paketit kulkemaan toista reittiä pitkin. (Flanagan 2012, 37 –50.)

Yksi yleisimmistä paketteja kuljettavista verkkoratkaisuista on ethernet. Ethernet on kuvattu IEEE:n standardissa 802.3 ja sen lisäosissa. Standardi on kehitetty vuonna

1983 ja siihen on myöhemmin tehty lukuisia lisäyksiä tuomaan lisää erilaisia ominaisuuksia. OSI-mallissa ethernet on 2.kerroksen eli siirtokerroksen protokolla. Verkon fyysinen toteutus voidaan tehdä monella erilaisella kaapeloinnilla. Lähiverkoissa käytetään yleisesti kierrettyä parikaapelia RJ-45 liittimillä, aiemmin käytettiin koaksiaalkaapelia. Näiden lisäksi linkkiväleillä voidaan käyttää optista kuitua. Jokaisella verkkoon kytketyllä laitteella on MAC-osoite, jolla laitteet voidaan yksilöidä. Tätä osoitetta käytetään pakettien lähetyksessä ja välityksessä. (Mts. 39–42.)

IP, Internet Protocol, toimii ethernet-kehysten sisässä. Se on OSI-mallissa 3.kerroksen eli verkkokerroksen protokolla. Sen päällä voidaan kuljettaa kuljetuskerroksen protokollia kuten TCP ja UDP. IP-protokolla määrittää laitteille IP-osoitteet ja mahdollistaa näitä hyödyntämällä reitityksen eri verkkojen välillä. (Mts. 43–47.)

## 2.2.2 Voice over Internet Protocol

VoIP eli Voice over Internet Protocol on termi tekniikalle, jolla siirretään ääntä tietoverkossa. Kuten nimikin osoittaa, se käyttää IP-protokollaan perustuvia tietoverkkoja tiedonsiirtoon. Ääni siirretään reaaliaikaisena ja käyttäen pakettimuotoisessa lähetyksessä IP-paketteja. Kansankielellä voidaan todeta, että se on puhelinpalveluiden tuottamista nykyaikaisen tietoverkon välityksellä.

VoIP-sovelluksissa tiedonsiirto tapahtuu pääsääntöisesti käyttäen kahta OSI-mallin kuljetuskerroksen protokollaa. Karkeasti yleistäen UDP:tä käytetään äänen siirtoon ja TCP:tä yhteyden hallintaan. Jaottelu on tehty protokollien ominaisuuksien takia. TCP-protokollaa käytetään hallinnointiin, sillä se on vikasietoisempi. UDP-protokollaa vastaavasti käytetään TCP:n sijaan, koska se on kevyempi kuljettaa pienemmän otsikkokentän takia sekä sillä on luonnostaan alhaisempi viive. (Postel 1980.)

TCP-lähetykseen tuotetaan keinotekoisesti viivettä, jos lähetyksessä alkaa tapahtua virheitä. Näin hidastetaan tiedonsiirtoa, kunnes virheiden määrä alkaa laskea, jonka jälkeen taas siirtonopeuden annetaan nousta. (Flanagan 2012, 47–50.)

UDP-lähetyksessä ei vastaavaa mekanismia ole vaan jokainen paketti on niin sanotusti oman onnensa varassa. Pakettien perille menoa ei valvota, mikä vääjäämättä joh-

taa virheisiin tiedonsiirrossa: paketti voidaan syystä tai toisesta tiputtaa matkalla, se voi vioittua tai perättäiset paketit voivat saapua väärässä järjestyksessä. Koska perilemENOA ei seurata kuittausviestein, tuotetaan verkkoon vähemmän liikennettä, joka ei suoranaisesti sisällä hyötykuormaa itse puhelun kannalta. UDP kuitenkin mahdollistaa pienemmän viiveen, joka on oleellinen osa siirrettävän puheen reaaliaikaisuutta. Tästä syystä VoIP-sovelluksen tulee itsessään olla vikasietoinen. Vikasietoisuuteen voidaan vaikuttaa äänen koodaukseen käytettävällä koodekillä, sekä itse ohjelmistoon rakennetulla virheenkorjauksella/puskurilla. (Saarelainen 2011, 81.)

### 2.2.3 Session Initiation Protocol

Session Initiation Protocol on vastuussa istunto-tyyppisen yhteyden muodostuksesta, ylläpidosta ja katkaisusta. Se on HTTP-protokollan tapaisesti tekstipohjainen merkinantoprotokolla. SIP pohjautuu client-server-malliin, jossa asiakas (client) lähettää pyyntöjä palvelimelle (server). Palvelin vuorostaan vastaa omilla viesteillään asiakkaalle. SIP ei itsessään kuljeta ääntä tai kuvaa, vaan niiden siirrosta vastaa RTP tai vastaava protokolla. (Saarelainen 2011, 107–110.)

Jotta käyttäjä voisi soittaa puhelun käyttäen SIP-järjestelmää, tulee käyttäjän käyttämän laitteen/ohjelman tukea kahta eri toiminnallisuutta. User Agent, UA, voi olla IP-puhelin, softphone eli puhelinohjelma, kamera tai vastaava päätelaite. UA client, UAC, toimii asiakasroolissa ja lähettää pyyntöjä käyttäjän yrittäessä soittaa. UA server, UAS, toimii palvelimen roolissa ja vastaa näihin pyyntöihin. Näin siis päätelaite voi soittaa ja vastaanottaa puheluita toimimalla kahdessa eri roolissa. (Saarelainen 2011, 111–113.)

Palvelimet, jotka välittävät puheluita, ovat joko välittäviä proxy-palvelimia tai jälleenohjaavia redirect-palvelimia. Proxy-palvelin toimii reitittimen tapaisesti, se reitittää pyynnöt joko seuraavalle palvelimelle tai suoraan UA:lle. Matkalla voi olla useampi proxy-palvelin. Vaste lähetettyyn pyyntöön kulkee samaa reittiä takaisin. Palvelin toimii niin asiakkaana kuin palvelimena välittäessään viestejä, joten se pitää siis sisällään niin UAC- kuin UAS-toiminnallisuudet. Proxy-palvelimen osoite tai nimi tulee antaa päätelaitteelle ennen käyttöä. Tämä voidaan tehdä joko päätelaitteen asetuk-

sista tai tämä tieto voidaan välittää DHCP-palvelimen kautta tämän antaessa pääte-laitteelle IP-osoitteen ja siihen liittyvät tiedot. Redirect-palvelin luo 300-sarjan vastei-ta saamiinsa pyyntöihin, uudelleenohjatakseen UA:n ottamaan yhteyttä eri SIP URI:in (Saarelainen 2011, 111–112.)

#### **2.2.4 SIP URI**

SIP URI, Universal Resource Identifier, on sähköpostiosoitteen kaltainen tunniste. Jokaisella istuntoon osallistuvalla tulee olla URI, jotta se voi osallistua istuntoon. URI muodostuu yleensä käyttäjän tunnuksesta tai puhelinnumerosta sekä host-osiosta. Tällöin URI on muodossa "sip:teppo.testaaja@testi.fi" tai "sip:teppo@testi.fi", kun käytetään käyttäjänimiä. Host-osa voi olla domain-nimi tai muodostua IP-osoitteesta, jolloin sen ei tarvitse olla muodoltaan FQDN eli Fully Qualified Domain Name. (Saare-lainen 2011, 113–114.)

SIP URI:ia voidaan käyttää myös www-sivuilta tutun "mailto:" linkin tapaan. Klikkaa-malla www-sivulla SIP-linkkiä saadaan esimerkiksi puhelinohjelma soittamaan SIP-puhelu linkin osoittamaan "puhelinnumeroon". (Mts. 113.)

#### **2.2.5 SIP-sanomat**

SIP-protokollan vasteet jaetaan kuuteen eri kategoriaan. Taulukossa 2 on esitetty eri vastesanomien koodi ja sanoman tarkoitus. Taulukosta löytyy yhtäläisyyksiä esimer-kiksi HTTP-protokollan kanssa, kummassakin käytetään osittain samoja virhesanomiam kuten 404 "Not Found". Samainen viesti tulee selainikkunaan esille, jos palvelin ei löydä käyttäjän hakemaa verkkosivua/tiedostoa. (Saarelainen 2011, 116–119.)

RFC-dokumentissa 3261 määritellään käytettävät viestit, mutta kuitenkin vanhempi RFC-dokumentti 2543 sisältää enemmän sanomia, jotka on myöhemmin todettu tar-peettomiksi tai sisällytetty muihin sanomiin. Näitä sanomia voidaan käyttää yhä, etenkin vanhemmissa sovelluksissa.

Taulukko 2. SIP-vasteet

Koodi	Viesti	Koodi	Viesti
100	Trying	400	Bad request
180	Ringing	401	Unauthorized
181	Call is being forwarded	402	Payment required
182	Queued	403	Forbidden
183	Session progress	404	Not found
		405	Method not allowed
200	OK	406	Not acceptable
202	Accepted	407	Proxy authentication required
		408	Request timeout
300	Multiple choices	410	Gone
301	Moved permanently	412	Conditional request failed
302	Moved temporarily	413	Request entity too large
305	Use proxy	414	Request-URI too long
380	Alternative service	415	Unsupported media type
		416	Unsupported URI scheme
500	Server internal error	417	Unknown resource-priority
501	Not implemented	420	Bad extension
502	Bad gateway	421	Extension required
503	Service unavailable	422	Session interval too small
504	Server timeout	423	Interval too bried
505	Version not supported	429	Provide referrer identity
513	Message too large	480	Temporarily Unavailable
580	Precondition Failure	481	Call/Transaction does not exist
		482	Loop detected
600	Busy everywhere	483	Too many hops
603	Decline	484	Address incomplete
604	Does not exist anywhere	485	Ambiguous
606	Not acceptable	486	Busy here
		487	Request terminated
		488	Not acceptable here
		489	Bad event
		491	Request pending
		493	Undecipherable
		494	Security agreement required

Näiden lisäksi käytössä on sanomia, joita käytetään yhteyden muodostukseen, hallintaan ja päättämiseen. INVITE-pyynnöllä kutsutaan vastapuoli istuntoon. ACK-sanomaa käytetään kuittaukseen, kun vaste on onnistuneesti otettu vastaan. BYE-sanomalla ilmoitetaan istunnon lopettamisesta. CANCEL-sanomalla perutaan lähetet-

ty pyyntö. REGISTER-sanomalla käyttäjä tai päätelaite pyrkii kirjautumaan palvelimelle. OPTIONS-sanomaa käytetään palvelimen tukemien asetusten kyselyyn. (Mts. 116.)

### **2.2.6 SIP Trunking**

Trunkilla tarkoitetaan kahden puhelinvaihteen välistä yhteyttä. SIP Trunk voidaan luoda teoriassa minkä tahansa IP-verkon ylitse. Pienien yritysten tapauksessa on siis mahdollista käyttää jo olemassa olevaa internetyhteyttä yhdistämään kaksi tai useampia puhelinvaihteita toisiinsa. Käytettäessä perinteistä internetyhteyttä ongelmaksi usein muodostuu operaattorin palvelunlaatu, sillä perinteisillä asiakasliittymillä ei ole taattu puheen siirrossa tarvittavan pientä viivettä ja viiveen vaihtelua. (Saarelainen 2011, 130.)

### **2.2.7 Session Description Protocol**

SDP, eli Session Description Protocol kuvailee istuntoa. SDP-tiedot kuljetetaan SIP-sanoman sisällä. SDP kuvailee istunnossa käytettävän mm. median, portit ja mediaformaattit. Näiden avulla vastaanottaja voi tehdä päätöksen, suostuuko hän osallistumaan istuntoon. Kuvausten avulla vastaanottajalla on tieto, milloin ja miten liittyä istuntoon. SDP-tiedoissa voi olla samanaikaisesti useampi formaatti ja versio listattuna, jolloin UAS voi tarkistaa tukeeko se vähintään yhtä näistä voidakseen käsitellä istunnon. UAS voi myös vastata viestillä, jossa se luettelee tukemansa vaihtoehdot. Istuntoa aloitettaessa UAC lähettää kutsuviestissään SDP-tiedot. Sen on myös mahdollista jättää tieto tyhjäksi, jolloin UAS lähettää ensimmäisessä vastauksessaan edellä mainitun luettelon SDP-kentässä. (Flanagan 2012, 101–107.)

## 2.2.8 Real Time Transport Protocol

Real Time Transport Protocol eli RTP-protokolla on kaksiosainen. RTP-protokollaa käytetään reaaliaikaisen datan kuljetuksen. RTCP eli Real-time Transport Control Protocol tarkkailee yhteyden laatua ja vastaa istunnon osallistujatietojen kuljetuksesta. RTP on OSI-mallin istuntokerroksen protokolla, joten se tarvitsee alleen kuljetus-, verkko- ja siirtokerroksen fyysisen kerroksen lisäksi. RTP-protokolla on suunniteltu riippumattomaksi alemman kerroksen protokollista, jolloin sitä voidaan käyttää muidenkin protokollapinojen kuin ethernet-protokollapinon kanssa. (Saarelainen 2011, 205.)

RTP-protokolla antaa paketeille järjestysnumeroinnin, joka mahdollistaa sellaisten verkkoratkaisujen käytön, jotka eivät itsessään takaa järjestysnumerointia siirrettävillä paketeille. Järjestysnumerointi mahdollistaa vastaanottajan järjestää paketit oikeaan järjestykseen, vaikka paketit olisivat saapuneet eri järjestyksessä kuin ne oli lähetetty. Kuviossa 3 on Wireshark-ohjelmalla kaapattu ja tulkittu RTP-paketti, jonka sequence number -kentässä on kyseisen paketin järjestysnumero. Payload type kertoo, että paketissa siirrettävä ääni on ITU-T:n standardin G.711 mukaisella koodekillä koodattu. Timestamp mahdollistaa äänen ja kuvan synkronoinnin keskenään antamalla vastaanottajalle kunkin paketin aikaleiman. Synchronization source identifier, SSRC, on 32-bittinen satunnaisesti muodostettu tunnistus, jolla vastaanottaja tunnistaa alkuperäisen mediavirran lähettäjän eli lähteen. (Saarelainen 2011, 206–208.)

```

⊕ Frame 6223: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits)
⊕ Ethernet II, Src: Tenovis_c6:0a:2a (00:07:3b:c6:0a:2a), Dst: Elitegro_38:80:01 (00:1e:90:38:80:01)
⊕ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.30.100 (192.168.30.100), Dst: 192.168.30.1 (192.168.30.1)
⊕ User Datagram Protocol, Src Port: 34008 (34008), Dst Port: 10762 (10762)
⊖ Real-Time Transport Protocol
  ⊕ [Stream setup by SDP (frame 116)]
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 .... = Extension: False
    ... 0000 = Contributing source identifiers count: 0
    0... .... = Marker: False
    Payload type: ITU-T G.711 PCMU (0)
    Sequence number: 1462
    [Extended sequence number: 66998]
    Timestamp: 146905148
    Synchronization source identifier: 0x4c593fd2 (1280917458)
    Payload: fcedeeef8746d7cedebf4fd6fafdf57c7c726b7ceff17b68...

```

Kuvio 3. RTP-paketti

Jokainen istuntoon osallistuja lähettää säännöllisin välein RTCP-paketteja muille osallistujille. Näiden tehtävänä on mahdollistaa yhteyden laadun ja suorituskyvyn tarkkailu. Tärkeimpiä tiedoista ovat lähetettyjen pakettien määrä, hävinneiden pakettien määrä sekä viiveen vaihtelu eli jitter. RTCP-paketissa kuljetetaan myös SSRC-tietoa, eli lähteiden tunnisteita. Tämä mahdollistaa osallistujien määrän seuraamisen ja osallistujien tunnistuksen. Protokolla lähettää myös ohjaustietoa, joka määrittää, kuinka tiheästi RTCP-paketteja lähetetään. Lähetysvälillä pyritään pitämään liikenteen määrä alle viidessä prosentissa kokonaisliikenteestä. Näiden lisäksi paketissa voidaan välittää valinnaisia tietoja kuten istunnon osallistujien nimiä. Kuviossa 4 on RTCP-paketti avattu Wireshark-ohjelmalla. Kuvioista nähdään eri tietoja, joita RTCP-paketti sisältää. (Saarelainen 2011, 208–210.)

```

Frame 4289: 178 bytes on wire (1424 bits), 178 bytes captured (1424 bits)
Ethernet II, Src: Tenovis_c6:0a:2a (00:07:3b:c6:0a:2a), Dst: Elitegro_38:80:01 (00:1e:90:38:80:01)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.30.100 (192.168.30.100), Dst: 192.168.30.1 (192.168.30.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 34009 (34009), Dst Port: 19015 (19015)
Real-time Transport Control Protocol (Sender Report)
  [Stream setup by SDP (frame 72)]
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 0001 = Reception report count: 1
    Packet type: Sender Report (200)
    Length: 12 (52 bytes)
    Sender SSRC: 0x14256c08 (337996808)
    Timestamp, MSW: 6070 (0x000017b6)
    Timestamp, LSW: 1022081150 (0x3cebb87e)
    [MSW and LSW as NTP timestamp: Not representable]
    RTP timestamp: 2045937934
    Sender's packet count: 682
    Sender's octet count: 109120
  Source 1
    Identifier: 0x7cdc3f44 (2094808900)
    SSRC contents
      Extended highest sequence number received: 24375
      Interarrival jitter: 18
      Last SR timestamp: 477706566 (0x1c793946)
      Delay since last SR timestamp: 240956 (3676 milliseconds)
Real-time Transport Control Protocol (Source description)
  [Stream setup by SDP (frame 72)]
    [Setup frame: 72]
    [Setup Method: SDP]
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 0001 = Source count: 1
    Packet type: Source description (202)
    Length: 20 (84 bytes)
    Chunk 1, SSRC/CSRC 0x14256c08
    [RTCP frame length check: OK - 136 bytes]
  
```

Kuvio 4. RTCP-paketti

Kuviossa 5 nähdään yllä mainitun paketin sisältämä valinnainen tieto. Paketissa välitetään CNAME eli osallistujan nimi sekä domain ”ext1201@192.168.30.100”, puhelinnumero ”1201” sekä muuta tietoa osallistujasta kuten käytettävä puhelin ”Avaya IP Telephone” ja sen firmware-versio.

```

Real-time Transport Control Protocol (Source description)
  [Stream setup by SDP (frame 72)]
    [Setup frame: 72]
    [Setup Method: SDP]
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 0001 = Source count: 1
    Packet type: Source description (202)
    Length: 20 (84 bytes)
  [Chunk 1, SSRC/CSRC 0x14256c08
    Identifier: 0x14256c08 (337996808)]
  [SDES items]
    Type: CNAME (user and domain) (1)
    Length: 28
    Text: ext1201@192.168.30.100:34008
    Type: PHONE (phone number) (4)
    Length: 4
    Text: 1201
    Type: TOOL (name/version of source app) (6)
    Length: 37
    Text: Avaya IP Telephone (s20d01b2_2_2.bin)
    Type: END (0)
  [RTCP frame length check: OK - 136 bytes]

```

Kuvio 5. RTCP ja SSRC

RTCP-paketteja on erilaisia. SR eli sender report sisältää lähettäjältä tulevaa tietoa istunnosta. RR eli receiver report vastaavasti on vastaanottajan tuottamalle tiedolle. SDES eli source description pitää sisällään tunnistamiseen tarvittavaa tietoa kuten CNAME. BYE on ilmoitus istuntoon osallistumisen lopettamisesta. APP on sovelluskohtaisille toiminnolle varattu. (Flanagan 2012, 57–58.)

## 2.2.9 Äänen koodaus

Äänestä otetaan puhelinkäytössä tietty määrä näytteitä per sekunti ja tämä näytteenottotaajuus määrittää osaltaan kuinka paljon ja minkä laatuista ääntä kyetään siirtämään siirtotien ylitse. Koodekin tehtävä on pakata tai tiivistää ääntä muuntamalla sen laatua mahdollisimman vähän. Tällä keinoin voidaan kuljettaa mahdollisimman monta yhtäaikaista puhelua äänenlaadun kärsimättä. Aiemmin luvussa 2.1.1 mainitaan, että puhelinverkossa otetaan äänestä näyte 8000 kertaa sekunnissa, jolloin tarvittava kaista on 64 kbit/s. Pakkaamalla tämä sama ääni tehokkaammalla koodekilla saadaan äänivirta mahdutettua 5-15 kbit/s ilman, että äänenlaadussa havaitaan suurta muutosta. (Saarelainen 2011, 186–187.)

PCM-koodauksessa äänestä otetaan tuo aiemmin mainittu 8000 näytettä per sekunti eli näytteenottotaajuus on 8 kHz, jokaista näytettä kuvataan kahdeksalla bitillä. Tämä PCM-koodaus määritellään ITU-T:n standardissa G.711. Tämä koodaus on myös tässä työssä käytettyjen puhelinvaihdesevellusten oletusasetuksissa käytettävä koodaus, se on myös yleisesti käytetty muissakin VoIP-sovelluksissa sekä kiinteässä puhelinverkossa. PCM-koodauksessa pakettihävikin sieto on hyvä, sillä jokainen ääninäyte on toisesta näytteestä riippumaton. Kuten mainittu, PCM-koodauksessa kaistan tarve on 64kbit/s. Tämä voi tuottaa ongelmia siirtotien kapasiteetin ollessa alhainen verrattuna puheluiden tuomaan kuormaan. G.711 käsittelee ääntä niin, että voimakkuudeltaan heikompien puhesignaalien suhteellisia eroja korostetaan. Tästä muokkauksesta on käytössä kaksi tapaa, A-Law ja  $\mu$ -Law. A-Law on käytössä Euroopassa ja  $\mu$ -Law Japanissa sekä Pohjois-Amerikassa. G.711 näytteistää taajusväliltä 300-3400 Hz. (Mts. 192.)

Maksullisista koodekeista yksi käytetyimmistä on G.729. Sen käyttämä kaista on vain 8 kbit/s. Toisaalta sitä käyttämällä ei kyetä välttämättä kuljettamaan fakseja ja DTMF-ääniä. Se on myös herkempi pakettihävikille. (Mts.192.)

GSM-verkoissa käytettyjä GSM Full Rate ja Half Rate koodauksia sovelletaan myös VoIP-sovelluksissa. GSM FR on nopeudeltaan 13kbit/s ja HR 5.6kbit/s. Nämä ovat usein tuettuja koodauksia VoIP-sovelluksissa, niiden käyttöön siirrytään siirtotien tukkeutuessa tai vikaantuessa. (Mts. 193.)

G.722 koodekkia käytetään kun halutaan mahdollisimman korkealaatuista ääntä. Se on laajakaistainen koodekki, joka toimii 48, 56 ja 64 kbit/s nopeuksilla. AMR, Adaptive Multimode, on G.722 koodekin 3G-verkkoihin kehitetty versio. Sen näytteenotto alue ulottuu jopa 7000 Hz korkeudelle saakka. (Mts. 194.)

### **2.2.10 Viive**

Viive on oleellisessa osassa puheen siirrossa niin paketti- kuin piirikytkentäisessä verkossa. Viiveen kasvaessa liian suureksi alkavat puhelun osapuolet puhumaan päällekkäin tai luulevat puhelun katkenneen. ITU-T:n ohjeistus on että PSTN-verkoissa vii-

veen tulisi olla maksimissaan 150 ms. Yksityisen verkon ollessa kyseessä, ns. private WAN, viive on hyväksyttävissä vielä 200ms suuruisena. Satelliittipuheluissa viive voi olla jopa 500ms, jos puhelu kulkee kahden satelliitin kautta. (Flanagan 2012, 33–35.)

Viivettä tuottaa siirtotien lisäksi äänen koodaus. Käytettävää koodekkia valitessa tulisi ottaa huomioon siirtotien nopeus ja koodekin prosessorikuormitus. Yleisesti alhaisemman bittivirran koodekit kuormittavat eniten CPU:ta, sillä ääntä joudutaan käsittelemään raskaasti. Suuremman bittivirran koodekit käsittelevät ääntä vähemmän, jolloin kuormitus on alhaisempi. (Mts. 33.)

Mitä suurempi viive puhelussa on, sitä oleellisempaa on kaiunpoisto. Poistamaton kaiku, jonka viive on yli 200 ms, voi tehdä yhteydestä käyttökeltottoman. Yli 50ms voi häiritä puhelua merkittävästi. Kaikua ei esiinny kaikissa digitaalisissa puhelimissa tai puheluissa digitaalisten laitteiden välillä, mutta puhelu digitaalisen ja analogisen puhelimen välillä tulee sisältämään kaikua erittäin todennäköisesti. Kaikua voidaan poistaa koodekissa, palvelintasolla tai esimerkiksi linjakortin omalla kaiunpoistopiirillä. (Mts. 33.)

### **2.2.11 QoS**

Verkon palvelunlaatu, Quality of Service eli QoS, vaikuttaa oleellisesti verkossa toimivan puhelinjärjestelmän toimivuuteen. QoS-tekniikoilla voidaan priorisoida VoIP-liikennettä tietyin parametrein, jolloin verkon ruuhkautuessa voidaan varmistaa VoIP-järjestelmän toimivuus.

Palvelunlaatu koostuu viiveestä, viiveen vaihtelusta ja pakettien häviämisestä. Viive vaikuttaa VoIP-palveluiden toimintaan, kuten aiemmassa kappaleessa tuli ilmi. Jitter, eli viiveen vaihtelu, vaikuttaa myös palvelun toimintaan. Jitter syntyy, kun verkon läpi kulkevien pakettien viive vaihtelee. Eli paketeilla on eripituiset siirtoajat. Tätä voidaan kompensoida vastaanottajan toimesta puskuroimalla, mutta jitterin puskurointi tuo myös lisää viivettä. Pakettien häviäminen taas vaikuttaa äänen laatuun. Kun paketteja tiputetaan, kompensoidaan tätä virhettä pudottamalla äänenlaatua. (Saarelainen 2011, 222.)

QoS-tekniikoilla voidaan varata verkosta tietty kapasiteetti VoIP-liikenteelle ja näin varmistaa, että puhelut saavat tarvitsemansa kaistan. Priorisoinnilla voidaan vaikuttaa myös viiveeseen. Jos puhelut asetetaan korkeampaan prioriteettiluokkaan, verkon laitteet käsittelevät ne nopeammin kuin alemmin luokitellut paketit, jotka sisältävät esimerkiksi HTTP-liikennettä. Pakettien käsittelyjärjestyksen päättää käytettävä jonotusalgorithmi. Jonotusalgorithmi voi asettaa paketin jonoon (aiheuttaa viivettä) odottamaan lähetysvuoroaan sekä tarvittaessa tiputtaa (aiheuttaa virhettä) paketteja jonosta. (Flanagan 2012, 172.)

## **3 Puhelinvaihteet**

### **3.1 Yleistä**

PBX eli Private Branch Exchange on yksityinen puhelinvaihde. Se toimii yrityksen tai yhteisön omana puhelinvaihteena yhdistäen esimerkiksi kaikkien työntekijöiden puhelimet toisiinsa.

Puhelinvaihteen historiassa ensimmäiset PBX-toteutukset toimivat päivystäjien voimalla. Puhelu saapui yrityksen puhelinnumeroon, johon keskusneiti vastasi. Tämän jälkeen hän yhdisti mekaanisesti puhelun yrityksen omaan alanumeroon, jolloin saatiin yhdistettyä yrityksen omassa puhelinverkossa oleva puhelin ulkomaailman kanssa. Vuosien varrella tekniikka kehittyi ja hiljalleen osa päivystäjistä korvattiin automatisoiduilla puhelinvaihteilla (PABX), sillä puhelun fyysinen kytkentä ei enää vaatinut samanlaista työmäärää. (Bellis 2014.)

Nytemmin puhelinvaihde liittyy puhelinverkkoon yleisimmin ISDN-liitynnällä. Se voi olla täysin automatisoitu ja sijaita eri paikkakunnalla kuin yritys itse, kun palvelu on ulkoistettu ulkoiselle toimijalle. (Saarelainen 2011, 66–67.)

## 3.2 PSTN

Public Switched Telephone Network, PSTN, on julkinen puhelinverkko. Yrityksen PBX voidaan liittää PSTN-verkkoon, jolloin saavutetaan mahdollisuus soittaa yrityksen ulkopuolisia puheluita. Tämä myös mahdollistaa yrityksen ulkopuolella olevien ihmisten soittamisen yritykseen. palveluntarjoaja voi mahdollistaa niin kotimaan- kuin ulkomaanpuhelutkin yrityksen sisäisestä puhelinverkosta. Yhteys yrityksen puhelinvaihteen ja PSTN verkon välille toteutetaan yleensä ISDN-yhteydellä, jossa kanavamäärä määrittää yhtäaikaisten puheluiden määrän. Mahdollista on myös liittyminen käyttäen mobiilitekniikkaa eli niin kutsuttuja 2G, 3G tai 4G matkapuhelinliittymiä. (Saarelainen 2011, 65.)

## 3.3 VoIP-PBX

Puhelinvaihteiden siirtyessä käyttämään IP-pohjaista verkkoa tuli myös yrityksen sisäisen puhelinverkon rakentaminen ja ylläpito muuttumaan. Aiemmat kaapeloinnit voitiin poistaa niiden vikaantuessa ja uudisrakentamisessa ne voitiin jättää pois. Jos yritys käyttää IP-puhelimia ja puhelinvaihdetta, voidaan puheluiden siirtoon käyttää esimerkiksi yrityksen omaa ethernet-verkkoa. Jos yrityksellä on useampi toimipaikka ja näiden välillä on verkkoyhteys, voidaan kummankin toimipisteen oma PBX yhdistää toisiinsa käyttäen tätä verkkoyhteyttä. Avoimeen lähdekoodiin perustuvia puhelin-keskussovelluksia käyttämällä yrityksen oman IP-pohjaisen puhelinverkon rakentamisen kustannukset ovat kohtuullisen alhaiset. (Saarelainen 2011, 17–21.)

## 3.4 FreePBX

FreePBX on avoimeen lähdekoodiin perustuva puhelin-keskussovellus. Sitä ylläpitää yhteisö sovelluskehittäjiä. Heidän tavoitteensa on tehdä PBX-sovelluksesta mahdollisimman käytettävä sekä ilmainen vaihtoehto kaupallisille sovelluksille. (History n.d.)

FreePBX on graafinen käyttöliittymä, GUI, jolla hallitaan varsinaista puhelinkeskussovellusta. FreePBX Distro eli valmis asennuskokonaisuus on ladattavissa yhteisön kotisivuilta. Distro pitää sisällään CentOS-käyttöjärjestelmän, Asterisk PBX-sovelluksen sekä FreePBX-käyttöliittymän. (FreePBX-Distro n.d.)

### **3.5 FreeSWITCH**

FreeSWITCH on avoimeen lähdekoodiin perustuva puhelinvaihtesovellus. Puhelinvaihteen roolin lisäksi se voidaan muokata myös moniin muihin tehtäviin, kuten Fax palvelimeksi, puhelinvastaajapalvelu, IVR-palvelin ja kuulutuspalvelu. Kuten Asterisk myös FreeSWITCH mahdollistaa puheluiden tallentamisen. Järjestelmän konfigurointi tapahtuu pääasiallisesti XML-tiedostojen avulla. FreeSWITCH toimii Windows-, Linux-, ja Mac OS X-käyttöjärjestelmillä. (Specsheet 2013.)

### **3.6 Asterisk**

Asterisk on avoimen lähdekoodin puhelinkeskussovellus. Se pitää sisällään itse puhelinvaihtepalvelin osion. Sitä voidaan käyttää niin VoIP-puhelinpalveluihin, konferenssipuheluihin, VoIP-välityspalveluihin ja muihin eri sovellutuksiin. Sen on kehittänyt ja sitä ylläpitää Digium Inc. Asteriskin kehittäminen aloitettiin vuonna 1999 Digiumin perustajan Mark Spencerin toimesta. (Digium n.d.)

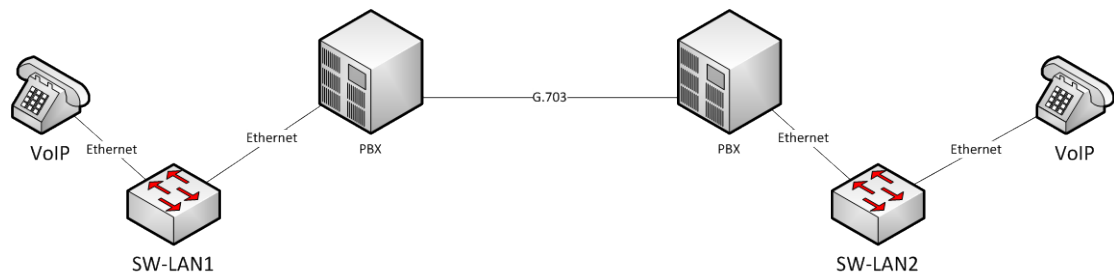
Asterisk tukee useita protokollia ja voidaan yhdistää muihin puhelinvaihtepalvelimiin sekä se kykenee tallentamaan puheluita. Sitä voidaan käyttää omien kokonaisuuksien rakentamiseen, kuten FreePBX-projektissa on tehty. Asterisk on käytössä 170 maassa ja yli miljoonassa puhelinvaihtetoteutuksessa. (Get Started n.d.)

Asteriskistä on ladattavissa ilmaiseksi kaksi versiota. Communications Framework pitää sisällään pelkästään itse puhelinvaihteohjelmiston. AsteriskNOW pitää sisällään ohjelmiston, CentOS-käyttöjärjestelmän sekä FreePBX-käyttöliittymän. (Download n.d.)

## 4 Käytännön toteutus

### 4.1 Lähtökohdat ja esivalmistelut

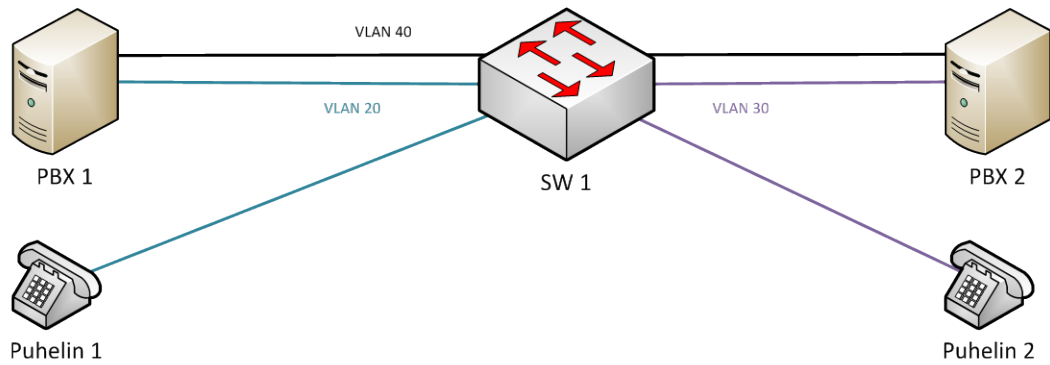
Toimeksiantaja määrittä testausympäristön ennen tämän työn aloittamista. Kuviossa 6 on havainnollistettu tämä ympäristö. Kaksi puhelinvaihdetta yhdistetään ns. euroISDN linjalla ja kumpaankin vaihteeseen kytketään IP-puhelimet. Kuviossa olevat kytkimet SW-LAN1 ja SW-LAN2 kuvastavat toimipaikan lähiverkkoa. Toimeksiantajan määritelmien mukaan tässä työssä ei tulla syvällisemmin pureutumaan toimipisteiden lähiverkkoihin, niiden rakenteisiin tai asetuksiin.



Kuvio 6. Toimeksiantajan määrittämän ympäristön kuvaus

Työn käytännön osuus aloitettiin asentamalla kahteen tietokoneeseen CentOS 6.5 käyttöjärjestelmä ja PCI-väylään Sangoman linjakortit kumpaankin koneeseen. Lisäksi linjakorttien väliin tuleva kaapeli tuli tehdä itse, sillä päätelaitteet kytketään suoraan toisiinsa, jolloin kaapelin tulee olla ristiinkytketty.

Puhelimet yhdistettiin puhelinvaihteisiin käyttämällä yhtä Ciscon 2950 kytkintä, johon luotiin VLANit simuloimaan kumpaakin lähiverkkoa sekä palvelimien välistä yhteyttä. Kuviossa 7 on kuvattu tässä työssä käytetyn verkon looginen topologia ethernet-verkon osalta. VLAN 20 pitää sisällään ensimmäisen lähiverkon puhelinvaihteen ja IP-puhelimen. VLAN 30 vastaavasti toisen lähiverkon puhelinvaihteen ja IP-puhelimen. VLAN 40 yhdistää puhelinvaihteet toisiinsa.



Kuvio 7. Verkon looginen topologia

Työssä käytettyyn Ciscon 2950 kytkimeen VLAN-asetukset asetetaan rajapintaan komennoilla:

```
switchport mode access
```

```
switchport access vlan 20
```

Ensimmäisellä komennolla asetetaan kyseinen rajapinta access-tilaan, jolloin sen kaikki rajapinnan liikenne merkitään kyseisen VLAN:in tunnisteella ja ohjataan kulkemaan tätä VLAN:ia pitkin. Jälkimmäisessä komennossa numero 20 on kyseisen VLAN:in tag eli tunniste. Komennot toistetaan jokaisessa rajapinnassa, jotka halutaan konfiguroida osaksi verkkoa. Jotta puhelinvaihteiden rajapinnat voisivat ottaa vastaan useamman VLAN:in liikennettä, tuli puhelinvaihteisiin liitetyille rajapinnoille asettaa tilaksi trunk komennolla:

```
switchport mode trunk
```

Laitteille määritettiin IP-osoitteet taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Osoitteistus

Laite	Rajapinta	IP-osoite	Aliverkon peite
PBX1	Eth0.20	192.168.20.1	255.255.255.0
	Eth0.40	192.168.40.1	255.255.255.0
PBX2	Eth0.30	192.168.30.1	255.255.255.0
	Eth0.40	192.168.40.2	255.255.255.0
Puhelin1		192.168.20.100	255.255.255.0
Puhelin2		192.168.30.100	255.255.255.0

## 4.2 Työssä käytettävät laitteet

### 4.2.1 Avaya 4621SW IP puhelin

Toimeksiantaja toimitti tätä työtä varten Avayan valmistamia 4621SW IP puhelimia kaksi kappaletta. Puhelin tukee H.323 ja SIP protokollia. Käyttämällä eri ohjelmistoversioita puhelin voidaan kytkeä kumpaakin protokollaa käyttämällä joko valmistajan omiin puhelinvaihteratkaisuihin tai muun valmistajan toteutuksiin. Puhelin saa virransa PoE-liitännällä, joka mahdollistaa virtalähteettömät kytkennät toimintoa tukevan verkkolaitteen avulla. Puhelin merkitsemään lähettämänsä IP-paketit VLAN tunnuksesta. Kuviossa 8 on esitetty kyseinen puhelinmalli. (Support downloads n.d.)



Kuvio 8. Avaya 4621SW

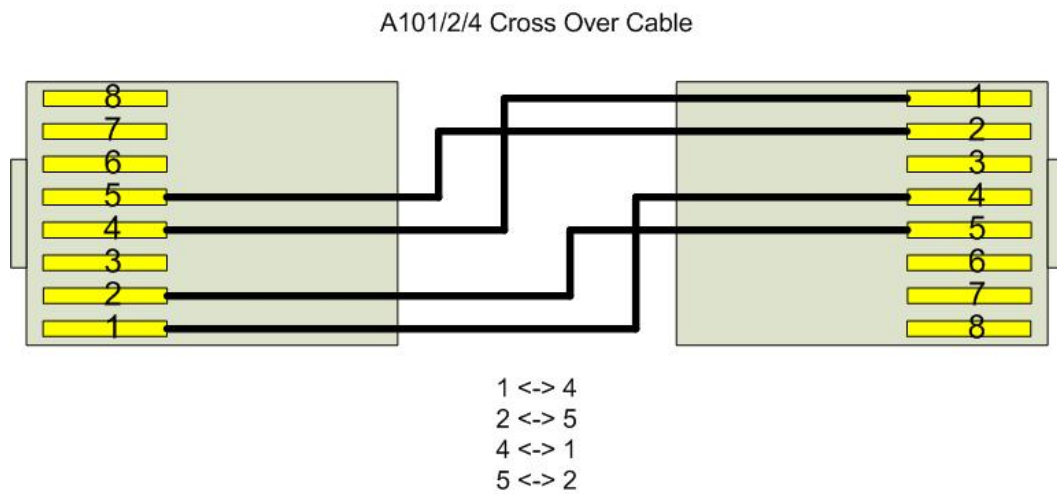
### 4.2.2 Sangoma A104 väyläkortti

Puhelinvaihteiden välistä yhteyttä varten toimeksiantaja toimitti Sangoman valmistamat A104 väyläkortit. Kortti asennetaan palvelinkoneen PCI-väylään. Se tukee Asterisk, FreeSWITCH, Yate sekä muita avoimen lähdekoodin puhelinvaihtesovelluksia. Kortissa on neljä RJ-45 liitännää yhteyksiä varten, joka mahdollistaa yhteensä 120 kanavaa puhetta varten, kun käytetään E1-liityntää. Lisäksi kortissa on sisäänrakennettu kaiun poisto. A104 tukee HDB3-, AMI- ja B8ZS-linjakoodauksia. Kortin kanssa voidaan käyttää CRC-4, non CRC-4, ESF, SF ja D4T1/E1 kehystyksiä. Kuviossa 9 on esitelty linjakortti. (A104: Quad Voice and Data Card n.d)



Kuvio 9. Sangoma A104 (A104: Quad Voice and Data Card. n.d.)

Väyläkortin käyttö tässä työssä edellytti kaapelin tekemistä laitevalmistajan antaman ohjeistuksen mukaisesti. Pohjana käytettiin Cat5e ethernet-kaapelia, jonka molempiin päihin puristettiin uudet RJ-45 liittimet kuvion 10 mukaisella johtimien järjestyksellä.



Kuvio 10. Ristiinkytketyn kaapelin johtimien järjestys (A104: Quad Voice and Data Card n.d.)

## 4.3 Työn vaiheet ja kulku

### 4.3.1 FreePBX asennus ja konfigurointi

Ensimmäisenä vaihtoehtoista lähdin asentamaan FreePBX ohjelmistoa erikseen asennettuna. Samalla tämä mahdollisti graafisen käyttöliittymän käytön, sillä pohjalla oli jo käyttäjärjestelmä, jossa oli asennettuna graafisen työpöydän paketit.

Itse ohjelmiston asennusta varten ladattiin FreePBX:n kotisivuilta asennus skripti seuraavalla komennolla:

```
wget http://upgrades.freepbxdistro.org/blank-centos-  
installer/5.211.65-track/5.211.65-1-Installer-Script.sh
```

Komento suoritetaan siinä hakemistossa, johon skripti halutaan asentaa. Tämän jälkeen muokataan tiedoston oikeuksia asettamalla sille oikeus olla suoritettava tiedosto seuraavalla komennolla:

```
chmod +x 5.211.65-1-Installer-Script.sh
```

Kun tiedostolla on suoritusoikeus, suoritetaan skripti komennolla:

```
./5.211.65-1-Installer-Script.sh
```

Skripti lataa ja asentaa kaikki tarvittavat paketit mukaan lukien Asteriskin. Tämän jälkeen järjestelmä käynnistyy uudelleen. (Lewis 2014.)

Asennuksen jälkeen kirjautuessa ensimmäistä kertaa palvelimelle pyytää FreePBX asettamaan pääkäyttäjän käyttäjätunnuksen, salasanan ja sähköpostiosoitteen. Tämä on havainnollistettu kuviossa 11.

FreePBX Support | ISymphony Panel | User Panel

**Welcome to FreePBX Administration!**

---

Initial setup

---

Please provide the core credentials that will be used to administer your system

Username

Password

Confirm Password

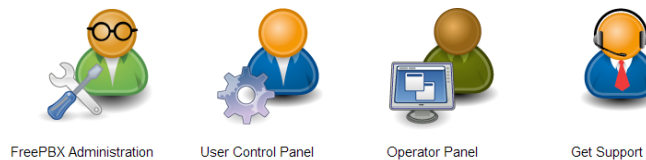
Admin Email address

Confirm Email address

[Set up my Account](#)

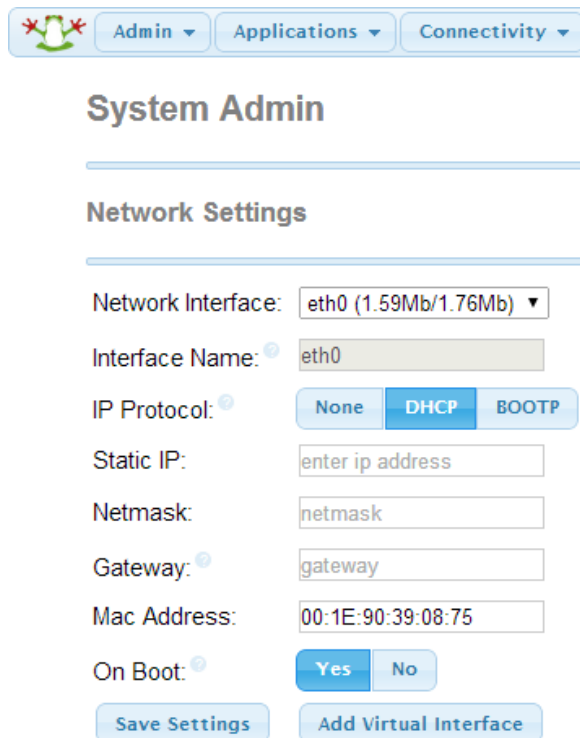
Kuvio 11. FreePBX ensimmäinen kirjautuminen

Käytettävät puhelinnumerot määritellään käyttöliittymän Administration-osiossa, johon päästään sisäänkirjautumisen jälkeen kuvion 12 mukaisen ruudun linkkiä klikkaamalla.



Kuvio 12. FreePBX paneelin valinta

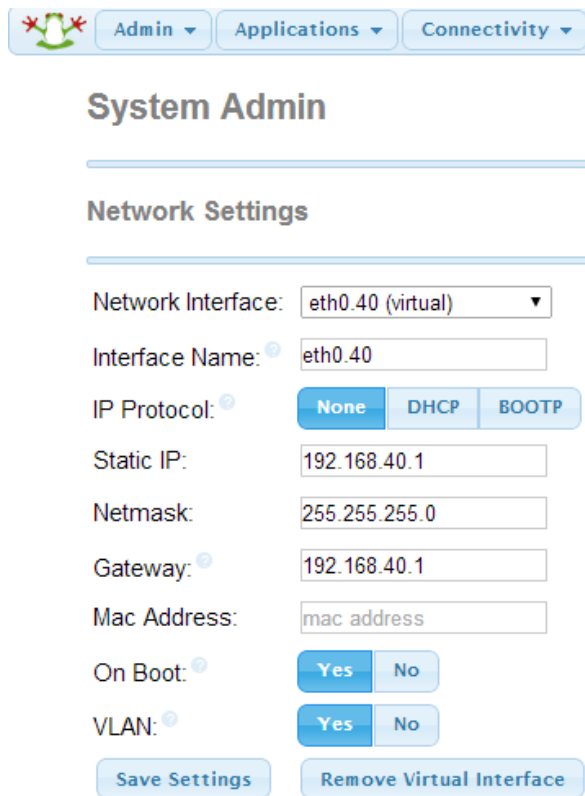
Puhelinvaihteen verkkoasetuksia muutetaan, jotta voidaan käyttää eri VLAN:ja. Virtuaalinen rajapinta luodaan Admin-valikosta System Admin-moduulia käyttämällä. Kuviossa 13 on nähtävillä puhelinvaihteen verkkoasetukset. Uusi virtuaalinen rajapinta tehdään klikkaamalla Add Virtual Interface.



The screenshot shows a web-based system administration interface. At the top, there are three navigation tabs: 'Admin' (with a green frog icon), 'Applications', and 'Connectivity'. Below these is the main heading 'System Admin'. Underneath, the 'Network Settings' section is displayed. It includes a dropdown menu for 'Network Interface' set to 'eth0 (1.59Mb/1.76Mb)'. Below that is a text input field for 'Interface Name' containing 'eth0'. The 'IP Protocol' section has three radio buttons: 'None', 'DHCP' (which is selected), and 'BOOTP'. Below the radio buttons are four text input fields: 'Static IP' (placeholder: 'enter ip address'), 'Netmask' (placeholder: 'netmask'), 'Gateway' (placeholder: 'gateway'), and 'Mac Address' (value: '00:1E:90:39:08:75'). At the bottom of the form are two buttons: 'Save Settings' and 'Add Virtual Interface'.

Kuvio 13. Network Settings

Seuraavaksi rajapinnalle tulee määrittää nimi. Nimi myös samalla osoittaa mitä VLAN tagia käytetään. Kuviossa 14 nähtävissä asetuksissa käytetään tagia 40, joka on rajapinnan eth0 alirajapinta. Protokollaksi valitaan none, sillä osoitteet määritetään käsin. VLAN-asetus tulee olla päällä. Lopuksi tallennetaan asetukset, jonka jälkeen järjestelmä pyytää vahvistamaan asetusten muutokset. Jokaiselle käytettävälle VLAN:lle luodaan oma virtuaalinen rajapinta.



Admin Applications Connectivity

## System Admin

---

### Network Settings

---

Network Interface:

Interface Name:

IP Protocol:  None  DHCP  BOOTP

Static IP:

Netmask:

Gateway:

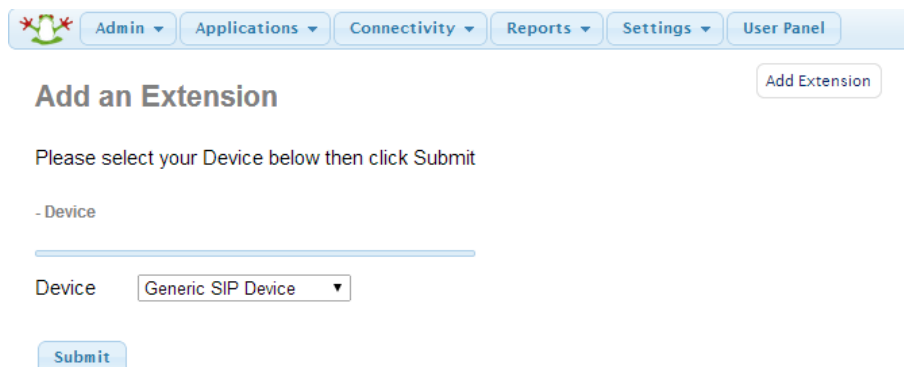
Mac Address:

On Boot:  Yes  No

VLAN:  Yes  No

Kuvio 14. Virtual Interface

Kuviossa 15 on havainnollistettu käyttäjän/puhelinnumeron lisäyksen valinta. Applications-valikosta valitaan Extensions. Työssä käytettävät puhelimet asetetaan toimimaan SIP-protokollalla, joten laitteen määritteeksi laitetaan Generic SIP Device ja jatketaan klikkaamalla Submit.



Admin Applications Connectivity Reports Settings User Panel

## Add an Extension

Please select your Device below then click Submit

- Device

---

Device

Kuvio 15. Extensionin lisääminen

Kuviossa 16 on havainnollistettu osa asetuksista, joita tarvitsee määrittää seuraavaksi. User Extension on haluttu puhelinnumero. Display name voi olla käyttäjän nimi tai työpisteen kuvaus. CID Num Alias vaihtoehdolla voidaan peittää soittajan numero. Tätä toimintoa voidaan käyttää esimerkiksi Help Desk ympäristössä, jolloin ulos soittaessa vastaajalla näkyy soittajana Help Deskin numero eikä yksittäisen puhelimen oikea numero tai alanumero. SIP Alias mahdollistaa SIP URI muotoisen osoitteen käytön ilman puhelinnumeroa, soittaessa voidaan siis valita esimerkiksi "jaakko@helpdesk.fi". Näiden lisäksi secret-kentän arvo toimii salasanana puhelimen kirjautuessa palvelimelle. Kun kaikki halutut asetukset ovat tehty, hyväksytään asetukset käyttöön painamalla sivun lopussa Submit.

[Admin](#) | [Applications](#) | [Connectivity](#) | [Reports](#) | [Settings](#) | [User Panel](#)

### Add SIP Extension

**- Add Extension**

---

User Extension <sup>?</sup>	<input type="text"/>
Display Name <sup>?</sup>	<input type="text"/>
CID Num Alias <sup>?</sup>	<input type="text"/>
SIP Alias <sup>?</sup>	<input type="text"/>

**- Extension Options**

---

Outbound CID <sup>?</sup>	<input type="text"/>
Asterisk Dial Options <sup>?</sup>	Ttr <input type="checkbox"/> Override
Ring Time <sup>?</sup>	Default ▼
Call Forward Ring Time <sup>?</sup>	Default ▼
Outbound Concurrency Limit <sup>?</sup>	No Limit ▼
Call Waiting <sup>?</sup>	Enable ▼
Internal Auto Answer <sup>?</sup>	Disable ▼
Call Screening <sup>?</sup>	Disable ▼
Pinless Dialing <sup>?</sup>	Disable ▼
Emergency CID <sup>?</sup>	<input type="text"/>
Queue State Detection <sup>?</sup>	Use State ▼

**- Assigned DID/CID**

---

DID Description <sup>?</sup>	<input type="text"/>
Add Inbound DID <sup>?</sup>	<input type="text"/>
Add Inbound CID <sup>?</sup>	<input type="text"/>

**- Device Options**

---

This device uses sip technology.

secret <sup>?</sup>	<input type="text" value="7cdef2251c74f1f6cde9a14a517228"/>
dtmfmode <sup>?</sup>	RFC 2833 ▼
nat <sup>?</sup>	No - RFC3581 ▼

Kuvio 16. SIP Extension

### 4.3.2 TFTP ja puhelimen firmware päivitys

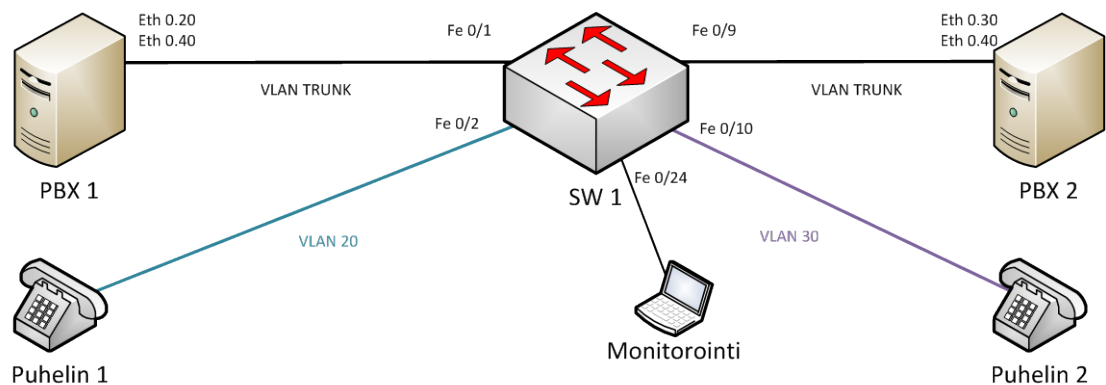
Jotta työssä käytettävät puhelimet toimisivat SIP ympäristössä, tulee niiden ohjelmisto päivittää. Puhelimien valmistaja tarjoaa tukisivustollaan useita eri vaihtoehtoja. Työssä käytettävä puhelinmalli toimii H.323 ja SIP protokollien kanssa. Käytettävä firmware pitää kuitenkin vaihtaa protokollan mukaan. Avaya tarjoaa sivustollaan omaa TFTP-sovellusta, jonka avulla puhelimeen voidaan ladata uusi firmware. Puhelin käynnistyessään tekee DHCP-pyyynnön. DHCP-palvelin vastatessaan voi sisällyttää viestiin myös TFTP-palvelimen IP-osoitteen, jolloin puhelin osaa automaattisesti tarkastaa palvelimelta ohjelmistonsa version ja ladata tarvittaessa uuden. (Support downloads n.d.)

Tässä työssä käytettiin TFTP64-ohjelmaa Windows-koneella, johon puhelin oli kytketty. Puhelimelle asetettiin manuaalisesti puhelimen IP-osoite, yhdyskäytävä, TFTP-palvelimen IP-osoite, puhelinvaihteen IP-osoite sekä käytettävä protokolla SIP. Yrittäessään ladata päivityksiä puhelin tekee pyynnöt HTTP-, HTTPS- ja TFTP-protokollia käyttämällä. Saadessaan yhteyden TFTP-palvelimeen puhelin lataa ja suorittaa 46xxupgrade.scr tiedoston, joka tunnistaa käytettävän puhelimen version ja lataa oikean version firmwaresta. Aiemmin valittu protokolla vaikuttaa siihen, lataako puhelin H.323 vai SIP yhteensopivan ohjelmiston. Latauksen jälkeen puhelin asentaa ohjelmiston ja lopuksi käynnistyy uudelleen. Jokaisella käynnistyskerralla puhelin pyytää TFTP-palvelimelta lisäksi 46xxsettings.txt tiedostoa josta se poimii tarvittavat asetukset. Tässä työssä asetukset tehtiin manuaalisesti, joten puhelimeen asetettiin lopuksi TFTP-palvelimen IP-osoitteeksi 0.0.0.0. Tämä estää puhelinta etsimästä TFTP-palvelinta käynnistyessään seuraavan kerran.

### 4.3.3 Puhelinvaihteiden yhdistäminen SIP trunkilla

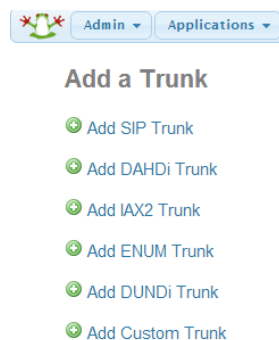
Kun puhelimet ja puhelinvaihteet olivat toiminnassa, yhdistettiin vaihteet ethernet-verkolla toisiinsa. Näin oli mahdollista todentaa puhelimen ja vaihteiden välisten yhteyksien toiminta. Koska palvelinkoneissa oli vain yksi fyysinen rajapinta, oli käyttöjärjestelmätasolla tehtävä virtuaalisia rajapintoja. Palvelinkone tarvitsee kaksi virtu-

aalista rajapintaa, yhden per VLAN. Kytkimen puhelinvaihteisiin yhdistetyt rajapinnat asetettiin trunk-tilaan, jolloin yhteysvälillä voidaan siirtää useamman VLAN:in liikennettä. Kuviossa 17 on kuvattu verkon fyysinen topologia, käytettävät portit ja puhelinvaihteiden virtuaaliset rajapinnat. Näiden lisäksi aiemmin luvussa 4.1 esitettyyn loogiseen topologiaan lisättiin verkon liikenteen monitorointiin ja todentamiseen käytettävä tietokone. Tietokone on lisätty kytkimen porttiin FE0/24. Kytkimen konfiguraatiot ovat työn liitteenä. (Liite 1.)



Kuvio 17. SIP testausympäristön fyysinen topologia

FreePBX käyttöliittymää käytettäessä SIP trunkin konfigurointi tapahtuu Connectivity-valikon kohdasta Trunks josta aukeaa kuvion 18 kaltainen valintaikkuna.



Kuvio 18. Add a Trunk

Add SIP Trunk-linkkiä klikkaamalla avautuu uuden SIP trunkin luomiseen tarkoitettu sivu, joka on kuviossa 19 esitetyn kaltainen. Trunk Name-kentässä määritellään yhteydelle nimi.

**Add SIP Trunk**

**General Settings**

Trunk Name:

Outbound CallerID:

CID Options:

Maximum Channels:

Asterisk Trunk Dial Options:   Override

Continue if Busy:  Check to always try next trunk

Disable Trunk:  Disable

**Dialed Number Manipulation Rules**

(prepend) + prefix | match pattern

+ Add More Dial Pattern Fields

Dial Rules Wizards:

Outbound Dial Prefix:

Kuvio 19. SIP Trunk asetukset

Tärkeimpiä asetuksia tässä vaiheessa ovat USER details ja PEER details, joilla määritellään palvelinten keskenään käyttämät käyttäjätunnukset ja salasanat. Asetusten tulee olla molemmilla osallistujilla yhteensopivat. Kuviossa 20 on nähtävillä kumman puhelinvaihteen asetukset rinnakkain. Incoming settings-kohdassa USER Context-kenttään määritellään käyttäjänimi. USER Details-kentässä salasana, käyttäjätyyppi ja ryhmä, jonka mukaan saapuvia puheluita käsitellään.

### Outgoing Settings PBX1

---

Trunk Name <sup>?</sup>:

PEER Details <sup>?</sup>:

```
host=192.168.40.2
username=PBX1
fromuser=PBX1
secret=Salas4n4
type=peer
```

### Outgoing Settings PBX2

---

Trunk Name <sup>?</sup>:

PEER Details <sup>?</sup>:

```
host=192.168.40.1
username=PBX2
fromuser=PBX2
secret=Salas4n4
type=peer
```

### Incoming Settings

USER Context <sup>?</sup>:

USER Details <sup>?</sup>:

```
secret=Salas4n4
type=user
context=from-trunk
```

### Incoming Settings

USER Context <sup>?</sup>:

USER Details <sup>?</sup>:

```
secret=Salas4n4
type=user
context=from-trunk
```

Kuvio 20. SIP Trunk tunnistauminen

Jotta puhelinvaihte osaisi ohjata puhelut edellä luotua yhteyttä pitkin, tulee määrittää reitti ulos eli outbound route. Valinta löytyy connectivity-valikosta. Nimen lisäksi määritetään numeroavaruus, joihin menevät puhelut ohjataan tätä reittiä pitkin. Tämä on havainnollistettu kuviossa 21. Trunk sequence-kohdassa määritetään aiemmin luotu SIP trunk ”PBX2-trunk” käytettäväksi tälle reitille. Tähän voidaan asettaa useampi käytettävä trunk esimerkiksi varayhteydeksi.

### Dial Patterns that will use this Route <sup>?</sup>

---

+  | [ / ]

+ Add More Dial Pattern Fields

Dial patterns wizards <sup>?</sup>:  ▼

### Trunk Sequence for Matched Routes <sup>?</sup>

---

0  ▼

1  ▼

Kuvio 21. Outbound route asetukset

#### 4.3.4 WANPIPE asennus ja konfigurointi

Kun käyttöjärjestelmän päälle on asennettu FreePBX, tulee Sangoman laiteajurit ladata ja asentaa, jotta euroISDN-linjaa voidaan käyttää puheen siirtoon. Laitevalmistajan wiki-sivuston ohjeiden mukaisesti asennettiin ensin riippuvuudet, DAHDI ohjelmistopaketti sekä LibPRI kirjasto. (Manual installation for TDM Cards for Asterisk n.d.)

Ajureiden lataus aloitetaan suorittamalla seuraavat kaksi komentoa:

```
wget http://downloads.asterisk.org/pub/telephony/dahdi-linux-complete/dahdi-linux-complete-current.tar.gz
```

```
wget http://downloads.asterisk.org/pub/telephony/libpri/libpri-1.4-current.tar.gz
```

Laitevalmistajan ohjeistus ohjaa lataamaan myös Asterisk version 11. Koska FreePBX-paketti oli jo asennettuna, voitiin tämä kohta ohittaa. Latauksen jälkeen puretaan DAHDI paketti komennolla:

```
tar xvfz dahdi-linux-complete.tar.gz
```

Purkamisen jälkeen siirrytään juuri purettuun hakemistoon ja suoritetaan seuraavat kolme komentoa:

```
make
```

```
make install
```

```
make config
```

LibPRI-paketin kanssa toimitaan samoin, lukuun ottamatta komentoa:

```
make config
```

Viimeisenä asennetaan Sangoman WANPIPE-ajuriohjelmisto. Paketti noudetaan komennolla:

```
wget ftp://ftp.sangoma.com/linux/current_wanpipe/wanpipe-
current.tgz
```

Purkamisen jälkeen asennus käynnistetään komennolla:

```
./Setup install
```

Ajureiden asennuksen jälkeen, jos asennusohjelma ei tätä automaattisesti käynnistänyt, käynnistetään ajureiden asetustyökalu komennolla:

```
setup-sangoma
```

Kuviossa 22 on nähtävillä työkalun ensimmäinen kysymys. Tämä määrittää mitkä ajurimoduulit asennetaan, riippuen käytettävästä ympäristöstä. Laitevalmistajan ohjeistuksen mukaisesti valittiin Asterisk/Dahdi tuki eli vaihtoehto 2. (Manual installation for TDM Cards for Asterisk n.d.)

```
-----
                WANPIPE v7.0.10 Installation Script
                Copyright (c) 1995-2013, Sangoma Technologies Inc.
                -----

Please Select Compilation Mode

1. WAN Protocols Support
   Protocols: Frame Relay, CHDLC, PPP, ATM, X25, ADSL, TDM API
   Default for: Wan Routing, Data & Voice API devel.

2. Asterisk/Dahdi Support
   Asterisk protocols: libpri (PRI,BRI), Analog (FX0/FXS), libss7 (SS7)
   Default for: Asterisk

3. Asterisk/Dahdi + WAN Protocol Support

4. TDM API (libsangoma)
   Protocols: TDM API (libsangoma) on AFT adapters:
   Default for: FreeSWITCH, Yate, Sunrise
               Custom voice development

5. Custom Compilation Mode
   Specify protocols to be added into the WANPIPE
   kernel drivers.

6. Deprecated: SMG (BRI) (Asterisk SMG/BRI [Use Asterisk/Dahdi option 2 instead]
)

7. Deprecated: SMG (BRI) + Asterisk/Dahdi [Use Asterisk/Dahdi option 2 instead]

Please select (1-7) [Default: 1]: 
```

Kuvio 22. WANPIPE asennus skripti

Tämän jälkeen työkalu tunnistaa asennetun linjakortin ja määrittää kysymysten avulla käytettävän konfiguraation. Kuviossa 23 on havainnollistettu tämän vaiheen ensimmäinen kysely.

```
#####
#                               Sangoma Wanpipe                               #
#   Dahdi/Zaptel/SMG/TDMAPI/BOOT Configuration Script                       #
#                               v2.39                                       #
#   Sangoma Technologies Inc.                                             #
#   Copyright(c) 2013.                                                  #
#####

Generating configuration files for Trixbox
-----
Configuring T1/E1 cards [A101/A102/A104/A108/A116/T116]
-----
A104 detected on slot:2 bus:7

-----
Configuring port 1 on A104 slot:2 bus:7.
-----

Select media type for AFT-A104 on port 1 [slot:2 bus:7 span:1]
 1. T1
 2. E1
 3. Unused
 4. Exit
[1-4]:
```

### Kuvio 23. Rajapinnan konfigurointi

Taulukossa 4 on lueteltu annetut vaihtoehdot kysymyksiin molempien puhelinvaihteiden osalta.

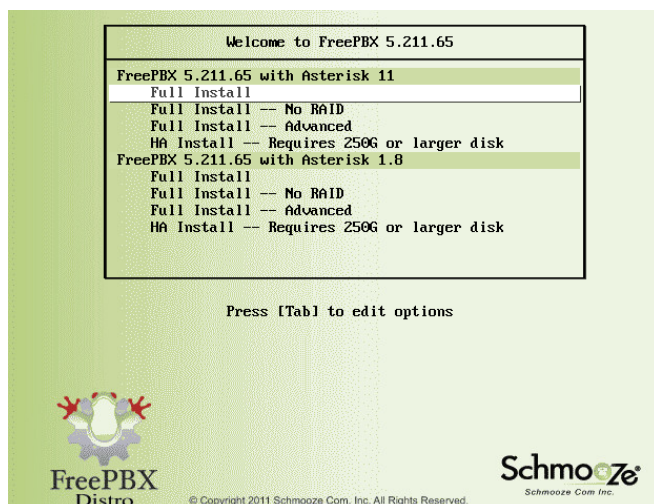
Taulukko 4. Wanpipe asetukset

Valinta	PBX1	PBX2
Media type	E1	E1
Line coding	HDB3	HDB3
Framing	NCRC4	NCRC4
Clock	Master	Normal
Signaling	PRI NET	PRI CPE
Switchtype	euroISDN	euroISDN
DTMF	Yes	Yes
Fax detection	No	No
Dialplan	Internal	Internal

Signaloinnin valinnassa PRI NET asettaa linjakortin toimimaan operaattorin laitteena, vastaavasti PRI CPE asiakaslaitteena. Kummastakin linjakortista käytettiin porttia 1.

### 4.3.5 FreePBX Distro

Seuraavassa vaiheessa PBX1:een asennettiin FreePBX distro, eli käyttöjärjestelmä ja puhelinvaihtesovellus valmiissa paketissa. palvelinkone asetettiin käynnistymään käyttäen DVD-asemaa. Kuviossa 24 nähdään FreePBX:n asennusruutu, josta valitaan käytettävä asennuskokonaisuus. Tässä työssä käytettiin valkoisella korostettua vaihtoehtoa Full Install, joka asentaa myös Asteriskin version 11.



Kuvio 24. FreePBX Installation

Tämän jälkeen asennus kysyy käytettävät verkkoasetukset. IP-osoite määritettiin manuaalisesti ja konfiguroinnin helpottamiseksi osoitteena käytettiin koneelle varattua VLAN 40 IP-osoitetta *192.168.40.1* aliverkon peitteen ollessa *255.255.255.0*. Tämä mahdollisti web-käyttöliittymän käytön PBX2:en käyttöjärjestelmää hyödyntämällä, mutta edellytti kytkimestä portin tilan muutoksen trunk-tilasta access-tilaan hetkellisesti.

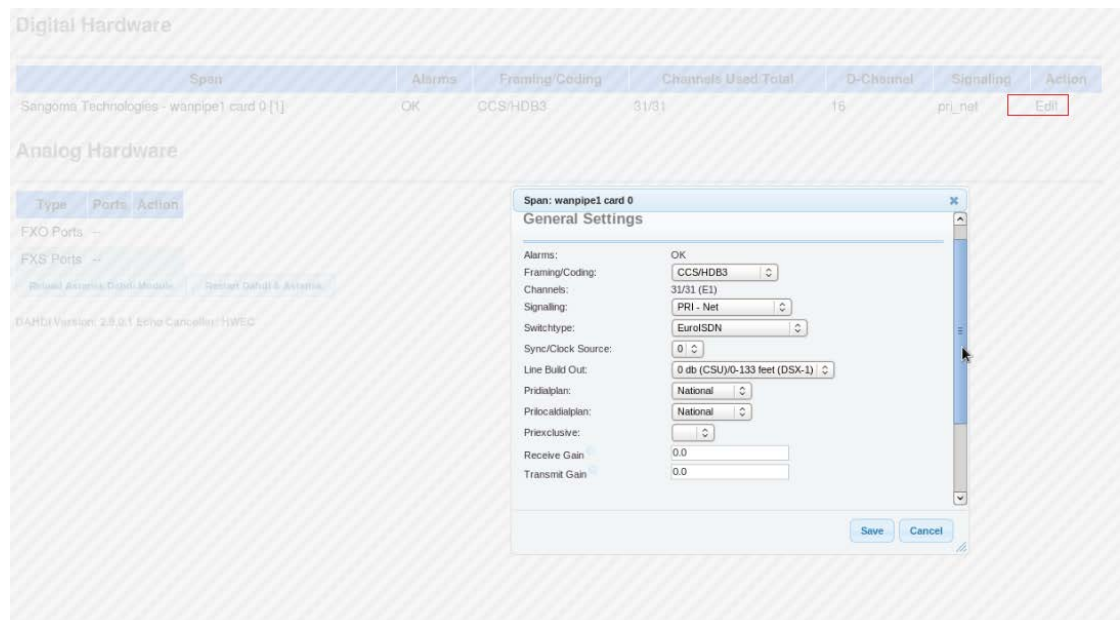
Seuraavaksi asennus pyytää valitsemaan käytettävät kello-asetukset ja pääkäyttäjän salasanan. Kello asetettiin Europe/Helsinki-aikavyöhykkeelle. Tämän jälkeen asennusohjelma suorittaa loput asennuksen toimenpiteet ja käynnistää järjestelmän uudelleen. Koska laiteajurit olivat jo valmiiksi asennettu linjakorttia varten, käynnistettiin asetustyökalu komennolla:

*setup-sangoma*

Linjakortin asetukset tehtiin luvun 4.3.4 mukaisesti ja määrittäen tämä laite linjan kellopulssin tuottajaksi. Lopuksi lisättiin käyttäjät ja konfiguroitiin verkkoasetukset. Verkkoasetusten jälkeen kytkimen portti FE0/1 palautettiin trunk-tilaan.

### 4.3.6 DAHDI Trunk konfigurointi

Jotta Asterisk osaisi siirtää puhelun ISDN-linjaa pitkin, tulee DAHDI konfiguraatiot asettaa Connectivity-valikosta. Kuviossa 25 on nähtävillä PBX1:en linjakortin wanpipe1-rajapinnan asetukset joita päästään muokkaamaan edit-linkistä.



Kuvio 25. DAHDI Config

Seuraavaksi tarvitsee määrittää niin sanottu trunk. Kuviossa 26 on nähtävillä PBX1:en "euroISDN-trunk" yhteyden asetukset. Outbound CallerID-asetus määrittää lähetettävän tunnuksen, jos soittajan omaa numeroa ei lähetetä. Outgoing settings-kohdassa voidaan määrittää mitä kanavaryhmää käytetään, jos yhteyden kanavat ovat konfiguroitu useampaan kuin yhteen ryhmään. Samalla voidaan vaikuttaa missä järjestyksessä puhelinvaihte käyttää kanavia.

[Admin](#) | [Applications](#) | [Connectivity](#) | [Reports](#) | [Settings](#) | [User Panel](#)

- Delete Trunk euroISDN-trunk

In use by 1 route

---

**General Settings**

Trunk Name : euroISDN-trunk  
 Outbound CallerID : 2000  
 CID Options : Allow Any CID  
 Maximum Channels :  
 Asterisk Trunk Dial Options : Tt  Override  
 Continue if Busy :  Check to always try next trunk  
 Disable Trunk :  Disable

---

**Dialed Number Manipulation Rules**

(prepend ) + prefix | match pattern

Dial Rules Wizards : (pick one)  
 Outbound Dial Prefix :

---

**Outgoing Settings**

DAHDI Trunks : Group 0 Round Robin Ascending  
[Configure/Edit DAHDI Cards](#)

---

**Extension Routes**

**Extension Routes is not registered**  
 The free Extension Routes module is installed, but not registered.

Kuvio 26. DAHDI Trunk

Kun rajapinnan asetukset ovat tehty ja trunk määritetty, tulee puhelinvaihteelle osoittaa mitä reittiä ulos käytetään. Tämä tapahtuu valitsemalla Connectivity-valikosta Outbound routes. Kuviossa 27 nähdään PBX1:en ulospäin suuntautuvan reitin asetukset "pbx2-route". Kohdassa Dial patterns määritetään numerot joihin suuntautuvat puhelut lähetetään käyttäen tämän reitin asetuksia. Määrite 1XXX asettaa kaikki numerot 1000-1999 väliltä lähetettäväksi tätä reittiä pitkin. Trunk Sequence for Matched Routes-toiminto mahdollistaa useamman eri trunk-linjan käytön yhdessä reitissä, jolloin voidaan käyttää varayhteyksiä esimerkiksi SIP-trunkkia toimipisteiden välillä.

Route Settings

Route Name : pbx2-route

Route CID:   Override Extension

Route Password:

Route Type:  Emergency  Intra-Company

Music On Hold?: default

Time Group: ---Permanent Route---

Route Position: ---No Change---

Additional Settings

Call Recording : Allow

PIN Set : None

Extension Routes

**Extension Routes is not registered**  
The free Extension Routes module is installed, but not registered.

Dial Patterns that will use this Route

() +  | [1XXX] /

(prepend) + prefix | [match pattern] / CallerID

+ Add More Dial Pattern Fields

Dial patterns wizards : (pick one)

Export Dialplans as CSV :

Trunk Sequence for Matched Routes

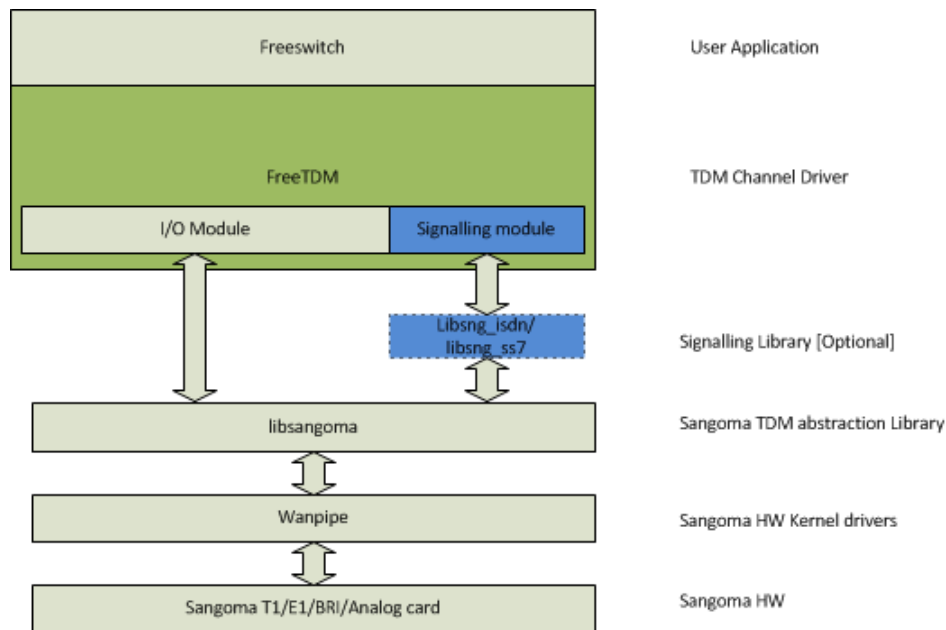
0 euroISDN-trunk

1

Kuvio 27. Outbound route euroISDN-linjalle

### 4.3.7 FreeSWITCH asennus

FreeSWITCH asennettiin PBX2:een. Pohjalla tuli olla käyttöjärjestelmä, joten palvelimelle asennettiin CentOS 6.5 uudelleen, jotta päällekkäisten asennuksien ristiriidoilta vältyttäisiin. Käyttöjärjestelmän asennuksen jälkeen asennettiin laitevalmistaja Sangoman ohjeistuksen mukaisesti Wanpipe ja FreeTDM ajurit sekä tarvittut kirjastot. Kuviossa 28 on havainnollistettu kuinka eri kirjastot ja ajurit toimivat keskenään. (Sangoma – FreeSWITCH n.d.)



Kuvio 28. Sangoma ajuripino (Sangoma – FreeSWITCH n.d.)

Ennen ajuripaketin asentamista tarvitsee käyttöjärjestelmään asentaa kuitenkin muutama paketti, jotta ajureiden asennus olisi mahdollista. Tämä tapahtuu komennolla:

```
yum -y install kernel-devel-$(uname -r) libtool* make gcc patch perl bison gcc-c++ ncurses-devel flex libtermcap-devel autoconf* automake* autoconf libxml2-devel cmake
```

Ajuripaketti ladataan komennolla:

```
wget ftp://ftp.sangoma.com/linux/current_wanpipe/wanpipe-current.tgz
```

Paketti puretaan komennolla:

```
tar xfz wanpipe-current.tgz
```

Puretut ajurit asennetaan komennolla:

```
make freetdm
```

```
make install
```

Ajureiden asennuksen jälkeen asennettiin FreeSWITCH valmistajan ohjeiden mukaisesti käyttämällä niin kutsuttua GIT-asennusta. (Linux quick installation guide 2014.)

Aluksi ladattiin GIT ja muut tarvittavat paketit komennolla:

```
yum install git autoconf automake libtool ncurses-devel libjpeg-devel  
sqlite-devel libcurl-devel pcre-devel speex-devel libedit-devel
```

Lisäksi voidaan asentaa valinnaiset osat komennolla:

```
yum install expat-devel openssl-devel libtiff-devel libX11-devel unix-  
ODBC-devel libssl-devel python-devel zlib-devel libzrtcpp-devel alsa-lib-  
devel libogg-devel libvorbis-devel perl-libs gdbm-devel libdb-devel uuid-  
devel @development-tools
```

Seuraavaksi ladattiin itse FreeSWITCH:in tarvittavat tiedostot komennolla:

```
git clone git://git.freeswitch.org/freeswitch.git
```

Tiedostot tulee ladata hakemistoon */usr/local/src*. Asennuksen valmisteleva skripti suoritetaan komennolla:

```
./bootstrap.sh
```

Sitten suoritettiin seuraavat komennot ohjelman varsinaisen asennuksen suorittamiseksi:

```
make
```

```
make all install cd-sounds-install cd-moh-install
```

Kun kaikki osat on asennettu, käynnistetään FreeSWITCH komennolla:

```
./freeswitch
```

Kuviossa 29 on havainnollistettu FreeSWITCH tervetuloa-ruutu latauksen jälkeen.



Kuvio 29. FreeSWITCH käynnissä

Jos asennuksen yhteydessä halutaan asentaa myös esimerkit konfiguraatiotiedostoita, tulee ennen ohjelman käynnistystä suorittaa komento:

```
make samples
```

Esimerkkitiedostot mahdollistavat puhelinvaihteen toiminnan testauksen valmiiksi luoduilla numeroilla ja tunnuksilla. (Installation Guide 2014.)

Käynnistyessään FreeSWITCH siirtyy oman komentokehoitteeseensa. Muutokset konfiguraatiotiedostoihin saadaan käyttöön komennolla:

```
reloadxml
```

Uusia käyttäjiä luodaan tekemällä FreeSWITCH:n alihakemistoon `/conf/directory/default/` konfiguraatiotiedosto halutulle käyttäjälle. Kuviossa 30 nähdään ohjelman esimerkkitiedoston `1000.xml` sisältö, jolla on luotu käyttäjä "1000".

```

GNU nano 2.0.9                               File: 1000.xml
<include>
  <user id="1000">
    <params>
      <param name="password" value="${default_password}"/>
      <param name="vm-password" value="1000"/>
    </params>
    <variables>
      <variable name="toll_allow" value="domestic,international,local"/>
      <variable name="accountcode" value="1000"/>
      <variable name="user_context" value="default"/>
      <variable name="effective_caller_id_name" value="Extension 1000"/>
      <variable name="effective_caller_id_number" value="1000"/>
      <variable name="outbound_caller_id_name" value="${outbound_caller_name}"/>
      <variable name="outbound_caller_id_number" value="${outbound_caller_id}"/>
      <variable name="callgroup" value="techsupport"/>
    </variables>
  </user>
</include>

```

Kuvio 30. FreeSWITCH 1000.xml

## 5 Tulokset

### 5.1 CentOS ja ajuriongelma

Kun molempiin palvelimiin oli asennettu sekä käyttöjärjestelmä, freePBX että wanpipe-ajurit, tuli vastaan ongelma käytettävässä ympäristössä. Asetuksiin määritettiin PBX1 osalta wanpipe1 rajapintaan kelloasetuksiin määrite "master", jolloin tämän rajapinnan pitäisi tuottaa linjalle kellopulssi joka tahdistaa liikennöinnin. Kellopulssin puuttuessa rajapinta antaa hälytyksen LOF, loss of framing, koska kehystys ei onnistu synkronisesti ilman kellopulssia. Asetukset asetettiin useaan kertaan, jonka lisäksi ajurit poistettiin ja asennettiin uudelleen. Vika ei poistunut, mutta toistui identtisenä myös PBX2:lla toteutettuna. Kuviossa 31 on kuvattu virheilmoituksia PBX1:ltä kokennolla:

```
tail -f /var/log/messages
```

```

Mar 26 11:07:44 localhost kernel: wanpipe1: LOS : OFF
Mar 26 11:07:44 localhost kernel: wanpipe1: LOF : OFF
Mar 26 11:07:45 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:07:45 localhost kernel: wanpipe1: RED : OFF
Mar 26 11:07:45 localhost kernel: wanpipe1: Disable transmit YEL alarm
Mar 26 11:07:47 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:07:51 localhost kernel: wanpipe1: LOF : ON
Mar 26 11:07:53 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:07:53 localhost kernel: wanpipe1: RED : ON
Mar 26 11:07:53 localhost kernel: wanpipe1: Enable transmit YEL alarm
Mar 26 11:07:55 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:07:57 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:07:59 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:01 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:03 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:04 localhost kernel: wanpipe1: LOF : OFF
Mar 26 11:08:05 localhost kernel: wanpipe1: RED : OFF
Mar 26 11:08:11 localhost kernel: wanec1: The H100 slave has lost its framing on
the bus!
Mar 26 11:08:11 localhost kernel: wanec1: The CT_C8_A clock behavior does not co
nform to the H.100 spec!
Mar 26 11:08:13 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:13 localhost kernel: wanpipe1: Disable transmit YEL alarm
Mar 26 11:08:15 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:17 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:19 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:23 localhost kernel: wanpipe1: Lost of Signal is detected!
Mar 26 11:08:25 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:25 localhost kernel: wanpipe1: Lost of Signal is cleared!
Mar 26 11:08:27 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:27 localhost kernel: wanpipe1: LOS : ON
Mar 26 11:08:27 localhost kernel: wanpipe1: LOF : ON
Mar 26 11:08:29 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:29 localhost kernel: wanpipe1: RED : ON
Mar 26 11:08:29 localhost kernel: wanpipe1: Enable transmit YEL alarm
Mar 26 11:08:40 localhost kernel: wanpipe1: LOS : OFF
Mar 26 11:08:40 localhost kernel: wanpipe1: LOF : OFF
Mar 26 11:08:41 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:41 localhost kernel: wanpipe1: RED : OFF
Mar 26 11:08:43 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:43 localhost kernel: wanpipe1: Disable transmit YEL alarm
Mar 26 11:08:45 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF
Mar 26 11:08:49 localhost kernel: wanpipe1: RAI : ON
Mar 26 11:08:51 localhost kernel: wanpipe1: RAI : OFF

```

Kuvio 31. PBX1 virheilmoitukset

Kuviossa 32 esitetään PBX2:lta wanpipemon-ohjelmalla otettua diagnostiikkaa rajapinnasta. Kuviossa näkyy eri hälytykset sekä signaalinvaimennuksen suuruus. Ohjelma suoritettiin komennolla:

*wanpipemon -i w1g1 -c Ta*

Komennon osa *w1g1* määrittää käytettävän rajapinnan *w1* sekä rajapinnan kanavar ryhmän *g1*.

```
[root@localhost wanpipe]# wanpipemon -i wlg1 -c Ta

**** wlg1: E1 Rx Alarms (Framer) ****

ALOS:  OFF   | LOS:  OFF
RED:   ON    | AIS:  OFF
LOF:   ON    | RAI:  ON

**** wlg1: E1 Rx Alarms (LIU) ****

Short Circuit:  OFF
Open Circuit:   OFF
Loss of Signal: OFF

**** wlg1: E1 Tx Alarms ****

AIS:  OFF   | YEL:  ON

**** wlg1: E1 Performance Monitoring Counters ****

Line Code Violation : 209
Far End Block Errors : 0
CRC4 Errors         : 0
FAS Errors          : 143845
Sync Errors         : 0

Rx Level           : > -2.5db

[root@localhost wanpipe]#
```

Kuvio 32. PBX2:n wanpipemon-diagnostiikkaa

## 5.2 SIP puhelu ja trunk

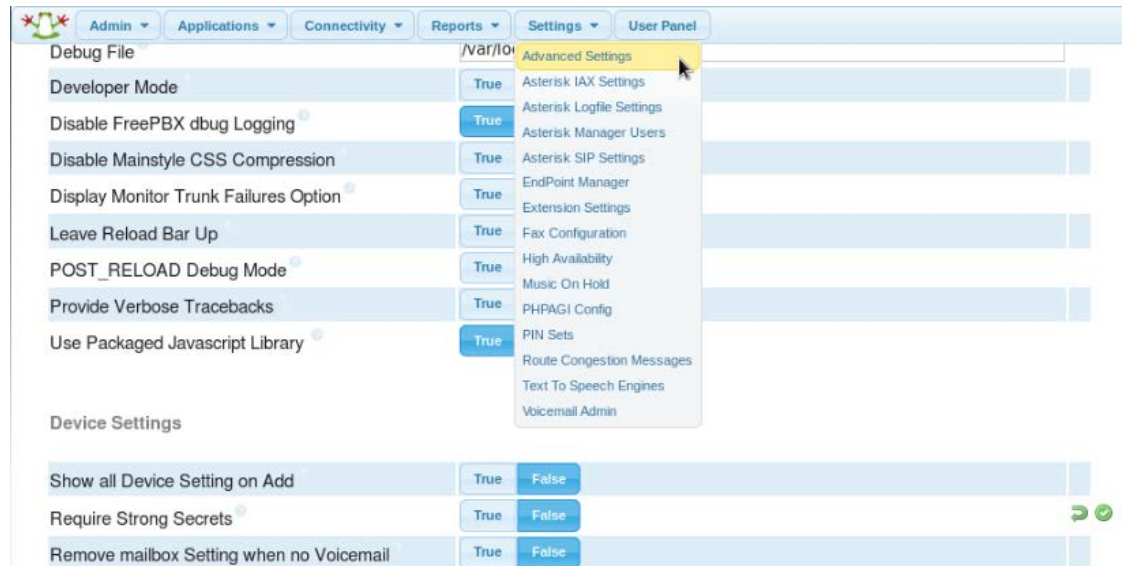
Kun ensimmäisen vaiheen puhelinvaihteita ei saatu yhdistettyä edellä mainittujen ongelmien vuoksi käyttäen E1-linjaa, yhdistettiin vaihteet käyttäen SIP trunk metodia. Kytkimeen asetettiin VLAN 40, jossa kuljetetaan puhelinvaihteiden välinen liikenne. Kun kytkimen portit FE0/1 ja FE0/10 asetettiin peilaavaan tilaan, voitiin monitoroida verkkojen liikennettä. Peilaus ohjattiin porttiin FE0/24.

Käyttäjille määritettiin numerot, jotka toimivat käyttäjätunnuksena puhelinvaihteeseen. Taulukossa 5 on lueteltu tässä osiossa käytetyt puhelinnumerot ja mihin puhelinvaihteeseen kukin numero on luotu. Jokaiselle puhelinnumerolle määritettiin myös salasana.

Taulukko 5. Puhelinnumeroiden allokointi

Numero	Puhelinvaihte
1201	2
1401	2
2201	1

Koska tässä työssä käytettävät Avayan valmistamat IP-puhelimet tukivat salasanasassa vain numeroita, muutettiin puhelinvaihteiden asetuksista vahvan salasanan vaativa toiminto pois päältä. Toiminto vaatisi isoja ja pieniä kirjaimia sekä numeroita salasanasassa. Asetus muutetaan Settings-valikon Advanced Settings-välilehdeltä kohdasta Require Strong Secrets, jonka tulee olla arvossa false. Kuviossa 33 on havainnollistettu kyseinen valikko.



Kuvio 33. Strong secrets asetus

Kun puhelimeen näppäiltiin vastapään puhelinnumero 1201 ja puhelu aloitetaan, ensimmäisenä puhelin suorittaa ARP kyselyn löytääkseen puhelinvaihteen eli PBX1:en. Kuviossa 34 näkyy Wireshark-ohjelmalla taltioituna puhelimen ARP kysely sekä saatu vastaus. Kyselyviesti näkyy kuviossa avattuna, jolloin voidaan tarkastella MAC osoitetta, johon viesti lähetetään. Viestin ollessa broadcast-viesti, lähetetään se MAC osoitteelle ff:ff:ff:ff:ff:ff, jolloin se päättyy lähtökohtaisesti kaikille verkkoille. Kyselyn lähettänyt puhelin on IP osoitteella 192.168.20.100. Vastauksen on lähet-



dardin  $\mu$ -Law ja PCMA saman standardin A-Law koodaus. Näiden lisäksi vaihtoehtoisiksi luetellaan G.729 ja G.726 standardien mukaisia koodekkeita.

```

[-] Session Description Protocol
    Session Description Protocol Version (v): 0
    [+ Owner/Creator, Session Id (o): MxSIP 0 1847219448 IN IP4 192.168.20.100
    Session Name (s): SIP Call
    [+ Connection Information (c): IN IP4 192.168.20.100
    [+ Time Description, active time (t): 0 0
    [+ Media Description, name and address (m): audio 34008 RTP/AVP 0 8 18 2 127
    [+ Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000
    [+ Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000
    [+ Media Attribute (a): rtpmap:18 G729/8000
    [+ Media Attribute (a): rtpmap:2 G726-32/8000
    [+ Media Attribute (a): rtpmap:127 telephone-event/8000
    [+ Media Attribute (a): ptime:20
  
```

Kuvio 36. SIP kutsun SDP-osio

Puhelin 2 saadessaan kutsun lähettää 200 OK viestin ilmoittaakseen hyväksyvänsä puhelun. Kuviossa 37 näkyy 200 OK viesti, jolla vastataan saatuun pyyntöön.

```

[-] Frame 143: 822 bytes on wire (6576 bits), 822 bytes captured (6576 bits)
[-] Ethernet II, Src: Tenovis_c6:0a:2a (00:07:3b:c6:0a:2a), Dst: Elitegro_38:80:01 (00:1e:90:38:80:01)
[-] Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.30.100 (192.168.30.100), Dst: 192.168.30.1 (192.168.30.1)
[-] User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
[-] Session Initiation Protocol (200)
    [-] Status-Line: SIP/2.0 200 OK
        Status-Code: 200
        [Resent Packet: False]
        [Request Frame: 116]
        [Response Time (ms): 2703]
    [-] Message Header
        Call-ID: 48f7155206158273338c58d62a92b36a@192.168.30.1:5060
        [+ CSeq: 102 INVITE
        [+ From: "Antti" <sip:pbx1@192.168.30.1>;tag=as3a763035
        [+ To: <sip:1201@192.168.30.100:5060>;tag=1061a2df5eefe0c
        [+ Via: SIP/2.0/UDP 192.168.30.1:5060;branch=z9hg4bk5eae2d03
        Content-Length: 227
        Allow: NOTIFY
        Allow: REFER
        Allow: OPTIONS
        Allow: INVITE
        Allow: ACK
        Allow: CANCEL
        Allow: BYE
        Content-Type: application/sdp
        Supported: replaces
        [+ Contact: <sip:1201@192.168.30.100:5060>
        User-Agent: Avaya SIP R2.2 Endpoint Brcm CallCtrl/1.5.1.0 MxSF/v3.2.6.26
    [-] Message Body
        [+ Session Description Protocol
  
```

Kuvio 37. SIP 200 OK viesti

Puhelun muodostuttua puhelimet siirtyvät lähettämään RTP paketteja jotka sisältävät ääntä sekä tietoja paketista. Kuviossa 38 on puhelimen 1 lähettämän RTP paketti.

Paketin Payload type -kentästä nähdään, että äänen koodauksessa käytetään G.711 koodekin  $\mu$ -Law koodausta.

```

Frame 161: 214 bytes on wire (1712 bits), 214 bytes captured (1712 bits)
Ethernet II, Src: Tenovis_c6:06:a8 (00:07:3b:c6:06:a8), Dst: Elitegro_39:08:75 (00:1e:90:39:08:75)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.20.100 (192.168.20.100), Dst: 192.168.20.1 (192.168.20.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 34008 (34008), Dst Port: 17146 (17146)
Real-time Transport Protocol
  [Stream setup by SDP (frame 147)]
    10.. .... = Version: RFC 1889 version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 .... = Extension: False
    .... 0000 = Contributing source identifiers count: 0
    0... .... = Marker: False
    Payload type: ITU-T G.711 PCMU (0)
    Sequence number: 26867
    [Extended sequence number: 92403]
    Timestamp: 657080009
    Synchronization Source identifier: 0x3dea03fd (1038746621)
    Payload: 78797b7e7f7e7d7b7c7c7e7e7f7f7fff7c797b7c7c7c7d7d...

```

Kuvio 38. RTP-paketti puhelimelta 1

Kuviossa 39 näkyy puhelimen 1 lähettämä BYE-pyyntö. Viestin tyyppi on siis ”request” eli pyyntö puhelun päättämiseen.

```

6251 35.966300      192.168.20.100      192.168.20.1      SIP      644 Request: BYE sip:1201@192.168.20.1:5060 |
Frame 644: 644 bytes on wire (5152 bits), 644 bytes captured (5152 bits)
Ethernet II, Src: Tenovis_c6:06:a8 (00:07:3b:c6:06:a8), Dst: Elitegro_39:08:75 (00:1e:90:39:08:75)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.20.100 (192.168.20.100), Dst: 192.168.20.1 (192.168.20.1)
User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: sip (5060)
Session Initiation Protocol (BYE)
  Request-Line: BYE sip:1201@192.168.20.1:5060 SIP/2.0
  Method: BYE
  Request-URI: sip:1201@192.168.20.1:5060
  [Resent Packet: False]
  Message Header
    Via: SIP/2.0/UDP 192.168.20.100:5060;branch=z9hG4bKc474b31d2
    Max-Forwards: 70
    Content-Length: 0
    To: 1201 <sip:1201@192.168.20.1>;tag=as77e68a4e
    From: 2201 <sip:2201@192.168.20.1>;tag=3456e9bb77afb25
    Call-ID: fd092757009c0c86ce8976be3b382fb98192.168.20.100
    CSeq: 1538919455 BYE
    Supported: timer
    Supported: replaces
    Authorization: Digest response="4292dae1159aff6c541a05a0a4fe3dc",username="2201",realm="asterisk",nonce="0bbb1bbf",algorithm=MD5,uri="sip:1201@192.168.20.1:5060"
    User-Agent: Avaya SIP R2.2 Endpoint Brcm callctrl/1.5.1.0 MMSF/v3.2.6.26

```

Kuvio 39. SIP 644 BYE-pyyntö

Kuviossa 40 on puhelimen 2 lähettämä RTCP-paketti, joka pitää sisällään ilmoituksen yhteyden päättämisestä.

```

⊕ Frame 6261: 154 bytes on wire (1232 bits), 154 bytes captured (1232 bits)
⊕ Ethernet II, Src: Tenovis_c6:0a:2a (00:07:3b:c6:0a:2a), Dst: Elitegro_38:80:01 (00:1e:90:38:80:01)
⊕ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.30.100 (192.168.30.100), Dst: 192.168.30.1 (192.168.30.1)
⊕ User Datagram Protocol, Src Port: 34009 (34009), Dst Port: 10763 (10763)
⊕ Real-time Transport Control Protocol (Receiver Report)
⊕ Real-time Transport Control Protocol (Source description)
⊕ Real-time Transport Control Protocol (Goodbye)
  ⊖ [Stream setup by SDP (frame 116)]
    ⊖ [Setup frame: 116]
      [Setup Method: SDP]
      10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
      ..0. .... = Padding: False
      ...0 0001 = Source count: 1
      Packet type: Goodbye (203)
      Length: 4 (20 bytes)
      Identifier: 0x4c593fd2 (1280917458)
      Length: 8
      Text: Teardown
    [RTCP frame length check: OK - 112 bytes]

```

#### Kuvio 40. RTCP Goodbye

Kuviossa 41 näkyy FreePBX:n selainpohjaisen käyttöliittymän status-sivu, kun puhelu puhelinvaihteiden välillä on käynnissä. Statistics-osiossa näkyy aktiivisten puheluiden määrä, aktiivisten kanavien määrä, puhelinvaihteeseen kirjautuneiden puhelimien määrä sekä käytössä olevien trunk yhteyksien määrä. System Statistics-osiossa on näkyvillä palvelimen kuormituksen kuvaajia, kuten prosessorin kuormitus prosentteina sekä muistin ja kovalevyn kapasiteetin käyttöasteet prosentteina. Lisäksi nähtävillä on virtuaalisten rajapintojen lähetys- ja vastaanottonopeudet.

Rajapinnan nimen kaksi viimeistä numeroa ovat VLAN ID, esimerkiksi eth0.40 lähettää ja vastaanottaa VLAN:ssa 40. Rajapinta eth0 on tässä tapauksessa palvelimen fyysinen rajapinta, jonka päälle virtuaaliset rajapinnat on tehty. Koska sivua tarkastellaan palvelimella itsellään, voidaan käyttää IP osoitetta 127.0.0.1 eli niin kutsuttua loopback-osoitetta. Tällöin pyynnöt lähetetään palvelimelle itselleen. Tämä osoite näkyy kuviossa selainikkunan osoitekentässä.

The screenshot displays the FreePBX Administration web interface. The browser address bar shows `127.0.0.1/admin/config.php?display=index`. The navigation menu includes Admin, Applications, Connectivity, Reports, Settings, and User Panel.

### FreePBX System Status

#### FreePBX Notices

No new notifications  
show all

#### FreePBX Statistics

Total active calls	1
Internal calls	0
External calls	0
Total active channels	2

#### FreePBX Connections

IP Phones Online	1
IP Trunks Online	1

#### Uptime

**System Uptime:** 2 hours, 4 minutes  
**Asterisk Uptime:** 2 hours, 2 minutes  
**Last Reload:** 39 minutes

#### System Statistics

##### Processor

Load Average	0.00
CPU	7%

##### Memory

App Memory	22%
Swap	0%

##### Disks

/	13%
/dev/shm	0%
/boot	9%
/home	0%

##### Networks

eth0 receive	21.89 KB/s
eth0 transmit	21.90 KB/s
eth0.30 receive	10.27 KB/s
eth0.30 transmit	10.96 KB/s
eth0.40 receive	10.18 KB/s
eth0.40 transmit	10.92 KB/s

#### Server Status

Asterisk	OK
MySQL	OK
Web Server	OK
SSH Server	OK

Kuvio 41. FreePBX paneeli puhelun ollessa käynnissä

Kuviossa 42 on nähtävillä Asteriskin komentokehottessa SIP trunkin toimivuutta seuraavan työkalun tuloste. Asterisk CLI tilaan päästään komennolla:

```
asterisk -r
```

CLI tilassa nähdään SIP peer yhteydet komennolla:

```
sip show peers
```

```

localhost*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Forcerport Comedia   ACL Port   Status
Description
1201                (Unspecified)      D No       No       A 0        UNKNOWN
1401                (Unspecified)      D No       No       A 0        UNKNOWN
pbx1-peer/pbx2     192.168.40.1       No        No       5060      OK (1 ms)
3 sip peers [Monitored: 1 online, 2 offline Unmonitored: 0 online, 0 offline]
localhost*CLI>

```

Kuvio 42. SIP peers

Asterisk lähettää ping-viestin toiselle puhelinvaihteelle ja ilmoittaa yhteyden viiveen millisekunteina Status-sarakkeessa. Edellä mainittu komento listaa myös kaikki allokoituneet numerot eli extensionit samassa listassa muiden puhelinvaihteiden kanssa. Nämä ilmenee kuviossa 42 kuvauksella "1201" ja "1401". Name/username-kentässä näkyvä "pbx1-peer/pbx2" kuvastaa yhdistettyä puhelinvaihdetta ja yhteyden käyttäjätunnusta. Yhteydelle asetettu IP osoite on 192.168.40.1 mikä näkyy listauksen Host-sarakkeella, joka on siis PBX1:en IP osoite.

### 5.3 euroISDN-linjan toiminta FreePBX Distrolla

Seuraavassa vaiheessa PBX1:een asennettiin FreePBX Distro korvaamaan käyttöjärjestelmä ja asennetun FreePBX-paketin. Distro sisältää valmiiksi laiteajurit ja työkalut Sangoman linjakortille, joten näiden asennukselta vältyttiin. Luvussa 5.1 mainittu ongelma ajureiden kanssa korjaantui Distron asennuksen myötä. Linjakortin asetukset tehtiin komentoriviltä, kuten luvussa 4.3.4 on kuvailtu. Liitteessä 2 on työkalun muodostama wanpipe1.conf asetustiedosto. Kuviossa 43 nähdään wanpipe1-rajapinnan tila käyttäen komentoa:

```
wanrouter status
```

```
[root@localhost ~]# wanrouter status

Devices currently active:
  wanpipe1

Wanpipe Config:

Device name | Protocol Map | Adapter | IRQ | Slot/IO | If's | CLK | Baud rate |
wanpipe1   | N/A         | A101/1D/2/2D/4/4D/8/8D/16/16D | 21 | 2       | 1   | 1   | N/A | 0   |

Wanrouter Status:

Device name | Protocol | Station | Status |
wanpipe1   | AFT TE1 | N/A     | Connected |
```

### Kuvio 43. Wanrouter status yhteyden ollessa toiminnassa

Ajuriohjelmiston antamia ilmoituksia nähdään kuviossa 44. Ilmoituksista voidaan päätellä linjan olevan toiminnassa ja kelloasetuksen pysyneen master-tilassa. Ilmoituksia päästään seuraamaan komennolla:

*tail -f /var/log/messages*

```
[root@localhost Desktop]# tail -f /var/log/messages
Mar 26 11:42:24 localhost kernel: wanpipe1: LOS : OFF
Mar 26 11:42:24 localhost kernel: wanpipe1: LOF : OFF
Mar 26 11:42:25 localhost kernel: wanpipe1: RED : OFF
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: wanpipe1: Disable transmit YEL alarm
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: wanpipe1: E1 connected!
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: wanpipe1: AFT communications enabled
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: wanpipe1: AFT Global TDM Intr
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: wanpipe1: HWEC Master Clock Set!
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: ADDRCONF(NETDEV_CHANGE): w1g1: link becomes ready
Mar 26 11:42:33 localhost kernel: wanpipe1: Global TDM Ring Resync TDM = 0x1
□
```

### Kuvio 44. Järjestelmän ilmoituksia

Linja olisi nyt siis toimintakuntoinen diagnostiikan mukaan ja kelloasetus näkyy konfiguraatitiedostossa. (Liite 2.)

Seuraavaksi luotiin puhelinnumero aiemmin mainitulla tavalla, jonka jälkeen kirjaututtiin palvelimelle puhelimella. Kun puhelin oli käynnistynyt, ladannut ohjelmistonsa ja kirjautunut suoritettiin ensimmäinen testisoitto. Kuviossa 45 on nähtävissä listaus euroISDN-yhteyden kanavista. Kanava 1 on aktiivisena. Listaus kanavista saatiin Asterisk CLI-tilassa komennolla:

*dahdi show channels*

```
localhost*CLI> dahdi show channels
Chan Extension      Context      Language    MOH Interpret  Blocked  State      Description
pseudo             default
1 2201             from-digital en           default      In Service
2                  from-digital en           default      In Service
3                  from-digital en           default      In Service
4                  from-digital en           default      In Service
5                  from-digital en           default      In Service
6                  from-digital en           default      In Service
7                  from-digital en           default      In Service
8                  from-digital en           default      In Service
9                  from-digital en           default      In Service
10                 from-digital en           default      In Service
11                 from-digital en           default      In Service
12                 from-digital en           default      In Service
13                 from-digital en           default      In Service
14                 from-digital en           default      In Service
15                 from-digital en           default      In Service
17                 from-digital en           default      In Service
18                 from-digital en           default      In Service
19                 from-digital en           default      In Service
20                 from-digital en           default      In Service
21                 from-digital en           default      In Service
22                 from-digital en           default      In Service
23                 from-digital en           default      In Service
24                 from-digital en           default      In Service
25                 from-digital en           default      In Service
26                 from-digital en           default      In Service
27                 from-digital en           default      In Service
28                 from-digital en           default      In Service
29                 from-digital en           default      In Service
30                 from-digital en           default      In Service
31                 from-digital en           default      In Service
```

Kuvio 45. Kanavien tila

Seuraavaksi tarkasteltiin kanavan 1 tilaa tarkemmin. Kanavan tilatiedot saadaan komennolla:

```
dahdi show channel 1
```

Kuviossa 46 on nähtävissä komennolla saatu listaus. Punaisella korostettuna on soit-tajan tietoja.

```

localhost*CLI> dahdi show channel 1
Channel: 1
Description:
File Descriptor: 13
Span: 1
Extension: 2201
Dialing: no
Context: from-digital
Caller ID: 2201
Calling TON: 0
Caller ID subaddress:
Caller ID name: Jarmo
Mailbox: none
Destroy: 0
InAlarm: 0
Signalling Type: ISDN PRI
Radio: 0
Owner: DAHDI/i1/2201-d
Real: DAHDI/i1/2201-d
Callwait: <None>
Threeway: <None>
Confno: -1
Propagated Conference: -1
Real in conference: 0
DSP: yes
Busy Detection: yes
  Busy Count: 10
  Busy Pattern: 0,0,0,0
TDD: no
Relax DTMF: no
Dialing/CallwaitCAS: 0/0
Default law: alaw
Fax Handled: no
Pulse phone: no
Gains (RX/TX): 0.00/0.00
Dynamic Range Compression (RX/TX): 0.00/0.00
DND: no
Echo Cancellation:
  128 taps
  (unless TDM bridged) currently ON
Wait for dialtone: 0ms
PRI Flags: Call Allocated
PRI Logical Span: Implicit
Actual Confinfo: Num/0, Mode/0x0000
Actual Confmute: No
Hookstate (FXS only): Onhook

```

Kuvio 46. Kanavan 1 käyttö

## 5.4 FreeSWITCH konfigurointi

Asennuksen aikana saatiin virheilmoitus puuttuvasta riippuvuudesta. Ilmoitus on havainnollistettu kuviossa 47. Paketin noutoa varten tuli asentaa EPEL-kirjaston paketit, jonka jälkeen voitiin asentaa ldns-devel-paketti.

```

making all mod_enum
Makefile:724: *** You must install your distros libldns-dev or ldns-devel to build mod
_enum. Stop.
make[3]: *** [mod_enum-all] Error 1
make[2]: *** [all-recursive] Error 1
Making all in build
+----- FreeSWITCH Build Complete -----+
+ FreeSWITCH has been successfully built.      +
+ Install by running:                          +
+                                             +
+             make install                    +
+                                             +
+ While you're waiting, register for ClueCon! +
+ http://www.cluecon.com                      +
+                                             +
+-----+

```

Kuvio 47. Asennuksen virheilmoitus

Kuviossa 48 on havainnollistettu ohjelman mukana tulevan graafisen käyttöliittymän etusivu. Käyttöliittymällä voidaan lähinnä luoda käyttäjiä ja tarkastella puhelinvaihteen tilaa.

The screenshot shows the FreeSWITCH Portal website. At the top, there is a navigation bar with links: FreeSWITCH Portal, Home, Users, Calls, Channels, Show, Sofia, and About. Below the navigation bar, the main heading reads "Welcome to FreeSWITCH !" followed by the tagline "---- The World's First Cross-Platform Scalable FREE Multi-Protocol Soft Switch". A large box displays system status information:

```

UP 0 years, 0 days, 20 hours, 57 minutes, 31 seconds, 779 milliseconds, 781 microseconds
FreeSWITCH (Version 1.5.12b git 2d811e0 2014-04-09 04:48:09Z 64bit) is ready
0 session(s) since startup
0 session(s) - peak 0, last 5min 0
0 session(s) per Sec out of max 30, peak 0, last 5min 0
1000 session(s) max
min idle cpu 0.00/87.50
Current Stack Size/Max 240K/8192K

```

At the bottom of the page, there is a copyright notice: © FreeSWITCH.org Join us on ClueCon!

Kuvio 48. FreeSWITCH panel

euroISDN-linjan konfigurointi tapahtui freetdm-ajureiden avulla. Itse asetusten määrittäminen tapahtui Asterisk-pohjaisten toteutusten kaltaisella työkalulla, joten tau-

lukossa 4 esitetyt asetukset soveltuivat käytettäväksi myös tässä vaiheessa työtä.

Työkalu käynnistetään komennolla:

```
wancfg_fs
```

Kuviossa 49 on havainnollistettu FreeSWITCH:n tilatietoja, kun euroISDN-linja otettiin käyttöön. Tämä tapahtuu automaattisesti ohjelmiston käynnistyessä, jos konfiguraatiot ovat tehty ja tallennettu.

```
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] ftmod_sangoma_isdn_stack_rcv.c:675 Received RESTART CFM (dChan:1 ces:0 type:0)
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] ftmod_sangoma_isdn_stack_rcv.c:825 [SNGISDN Q931] sl: Interface: UP(260): Dchan(285)
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:1 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:2 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:3 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:4 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:5 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:6 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:7 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:8 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:9 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:10 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:11 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:12 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:13 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:14 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:15 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:16 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:17 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:18 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:19 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:20 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:21 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:22 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:23 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:24 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:25 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:26 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:27 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:28 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:29 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:30 signalling changed to :UP
2014-04-29 11:44:20.365294 [INFO] mod_freetdm.c:2780 1:31 signalling changed to :UP
```

Kuvio 49. FreeTDM tilatietoja

Koska ohjelman konfigurointi tapahtuu komentokehoitetta ja tekstieditoria käyttäen, todettiin tässä vaiheessa työtä ohjelman toiminnan tutkinta ja todentaminen hyödyttömäksi tämän työn kannalta. Ohjelman käyttö poikkeaa tilaajan asettamista tavoitteista niin käytettävyyden, kuin asennuksen helppouden suhteen. Haettavan soveluksen tuli olla hallittavissa graafista käyttöliittymää käyttäen ja asennuksen mahdollisimman suoraviivainen.

## 6 Pohdinta

### 6.1 Tavoitteiden saavutus

Työn tavoitteet saavutettiin osittain. ISDN-yhteydellisyys saatiin toimimaan lopulta kahden puhelinvaihteen välillä, sekä puhelinvaihteiden yhdistämistä Ethernet-verkon avulla tutkittiin. FreeSWITCH osoittautui hankalaksi konfiguroida ja lopulta päädyin tulokseen, että se ei täytä työn tilaajan toiveita käytettävyydestä. Siksi FreeSWITCHin yhdistämistä toisiin sovelluksiin ei testattu eikä todennettu. Näin ollen tältä osin tavoitteet jäivät saavuttamatta, sekä yhteyden toimivuutta testattiin vain kahdella versiolla FreePBX sovelluksesta.

Tässä työssä käytetty ISDN-linja oli tekniikkana minulle tuttu vain nimellisesti. Opin työtä tehdessä niin teoria- kuin käytännöntietoa linjan toiminnasta, konfiguroinnista ja sen käyttökohteista.

En ollut aiemmin tutustunut käytännön tasolla kaapeleiden liitintyökaluihin ja niiden käyttöön. Työn aikana pääsin tekemään ristiinkytketyn kaapelin jonka molemmissa päissä oli RJ-45 liittimet, sekä niin kutsutun loopback-pluginin.

### 6.2 Sovelluksen valinta

Työn yhtenä osana oli vertailla käytettäviä sovelluksia ja valita yksi jota käytettäisi myös asennusohjeiden teossa. Valintaperusteina käytin asennuksen helppoutta ja ei-graafisessa ympäristössä tehtävän konfiguroinnin vähyyttä tilaajan toiveiden mukaisesti.

FreePBX Distron asennus oli suoraviivaista ohjelmiston omia opasteita seuraamalla. Lisäksi paketissa olivat valmiiksi linjakortin tarvitsemat ajurit, jolloin vältyttiin paketien ja riippuvuuksien asennuksilta. Komentorivillä tarvitsi antaa linjakortin konfigurointityökalun käynnistyksen vaatima komento, sekä työkalun kysymyksiin vastaukset. Tämän jälkeen loput konfiguroinnit voitiin tehdä käyttämällä järjestelmän web-käyttöliittymää. Käyttöliittymä oli mielestäni selkeä ja helppokäyttöinen.

Mielestäni käytön helppous oli selvästi paremmalla tasolla FreePBX:llä kuin FreeSWITCH:llä. Jälkimmäisen konfigurointi ”suoraan paketista” tapahtuu lähes täysin käyttämällä XML-tiedostoja ja komentokehoitetta. Koska tilaaja painotti eritoten graafisen käyttöliittymän käyttöä ja asennuksen helppoutta, oli valinta mielestäni lopulta erittäin selkeästi FreePBX Distro.

### 6.3 Tulevaisuus

Uskon että FreeSWITCH tulee olemaan jatkossakin kehityksen kohteena ja sille saatavia lisäosia kehitetään jatkuvasti. Ohjelmalle löytyy kolmansien osapuolien tekemiä graafisia käyttöliittymiä, mutta näiden asennus vaatii lisää työtä komentokehoitetta käyttäen, joka ei vastaa työn tilaajan toiveita. Mukana tulevan käyttöliittymän hioutuessa samalle tasolle FreePBX:n kanssa tämä vertailu olisi mielestäni syytä tehdä uudelleen. Silloin olisi myös mahdollista pureutua näiden kahden vaihtoehdon mahdollisiin eroihin suorituskyvyssä ja tietoturvallisuudessa.

Tietoturvallisuuteen ei tässä työssä syvennytty lainkaan. Puhelinvaihteiden ja puheluiden tietoturvallisuuden tutkiminen, testaus sekä järjestelmien koventaminen olisi mielestäni oman opinnäytetyönsä arvoinen kokonaisuus. IP-puheluiden yhä yleistyessä myös tietoturvariskit mielestäni kasvavat rikollisten mielenkiinnon lisääntyessä muiden käyttäjien mukana, joka luo painetta tietoturvallisuuden parantamiseen.

## Lähteet

A104: Quad Voice and Data Card. n.d. Laittevalmistajan tuotesivusto. Viitattu 19.4.2014. <http://www.sangoma.com/products/a104-quad-voice-and-data-board/>

Bellis, M. 2014. History of the Telephone – Public Telephone Service. About.com Inventors verkkolehden artikkeli. Viitattu 19.4.2014.  
[http://inventors.about.com/od/bstartinventors/a/telephone\\_2.htm](http://inventors.about.com/od/bstartinventors/a/telephone_2.htm)

Camarillo, G. 2009. Message body handling in the session initiation protocol (SIP). Request for Comments:5621. <http://tools.ietf.org/html/rfc5621>

Digium. n.d. About Digium. Tietoa valmistajasta - sivusto. Viitattu 19.4.2014.  
<http://www.digium.com/en/company>

Download. n.d. Asterisk-ohjelmiston lataussivusto. Viitattu 19.4.2014.  
<http://www.asterisk.org/downloads>

Flanagan, W. 2012. VoIP and Unified Communications: Internet Telephony and the Future Voice Network. New Jersey: John Wiley & Sons.

FreePBX-Distro n.d. FreePBX-sivuston lataussivusto. Viitattu 19.4.2014.  
<http://www.freepbx.org/freepbx-distro>

Get Started. n.d. Asterisk-ohjelmiston verkkosivusto. Viitattu 19.4.2014.  
<http://www.asterisk.org/get-started>

Granlund, K. 2007. Tietoliikenne. Jyväskylä: WSOY.

Handley, M., Schulzrinne, H., Schooler, E. & Rosenberg, J. 1999. SIP: Session Initiation Protocol. Request for Comments: 2543. Network Working Group. Viitattu 20.2.2014.  
<http://tools.ietf.org/html/rfc2543>

History. n.d. FreePBX-sivuston historiaa. Viitattu 19.4.2014.  
<http://www.freepbx.org/history>

Ilmasotakoulu. 2009. Ilmasotakoulun verkkosivusto. Viitattu 26.1.2014.

<http://www.puolustusvoimat.fi/>, Ilmavoimat, Joukko-osastot.

Installation Guide. 2014. Valmistajan wiki-sivusto. Viitattu 28.4.2014.

[http://wiki.freeswitch.org/wiki/Installation\\_Guide](http://wiki.freeswitch.org/wiki/Installation_Guide)

ITU-T G.703. 2001. G.703 : Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces. Viitattu 12.3.2014. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.703/en>

Lewis, T. 2014. Converting Stock Centos to a FreePBX Distro. FreePBX Wiki-dokumentti. Viitattu 17.3.2014.

<http://wiki.freepbx.org/display/FD/Converting+Stock+Centos+to+a+FreePBX+Distro>

Linux quick installation guide. 2014. Valmistajan wiki-sivusto. Viitattu 27.4.2014.

[http://wiki.freeswitch.org/wiki/Linux\\_Quick\\_Install\\_Guide](http://wiki.freeswitch.org/wiki/Linux_Quick_Install_Guide)

Manual installation for TDM Cards for Asterisk. n.d. Laittevalmistajan wiki-sivusto.

Viitattu 9.4.2014. <http://wiki.sangoma.com/wanpipe-linux-asterisk-dahdi>

Postel, J. 1980. User datagram protocol. Request for Comments: 768. Viitattu

12.3.2014. <http://tools.ietf.org/html/rfc768>

Rosenber, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M. & Schooler, E. 2002. SIP: Session Initiation Protocol. Request for Comments: 3261. Network Working Group. Viitattu 19.1.2014.

<http://tools.ietf.org/html/rfc3261>

Sangoma - FreeSWITCH. n.d. Laittevalmistajan wiki-sivusto. Viitattu 17.4.2014.

<http://wiki.sangoma.com/wanpipe-freeswitch>

Saarelainen, K. 2011. IP-Puhe. Uud.p. Helsinki: ReadMe.fi.

Specsheet. 2013. Specsheets. Valmistajan tuotetietosivu. Viitattu 28.4.2014.

<http://wiki.freeswitch.org/wiki/Specsheet>

Support downloads n.d. Valmistajan tukisivusto. Viitattu 19.4.2014.

<https://support.avaya.com/downloads/>, 4600 Series IP Telephones.

## Liitteet

### Liite 1. SW1 konfiguraatio

```
Current configuration : 2095 bytes
!
version 12.1
no service pad
service timestamps debug uptime
service timestamps log uptime
no service password-encryption
!
hostname SW1
!
!
ip subnet-zero
!
ip ssh time-out 120
ip ssh authentication-retries 3
!
spanning-tree mode pvst
no spanning-tree optimize bpdu transmission
spanning-tree extend system-id
!
!
!
!
interface FastEthernet0/1
 switchport access vlan 40
 switchport mode trunk
!
interface FastEthernet0/2
 switchport access vlan 20
 switchport mode access
!
interface FastEthernet0/3
 switchport access vlan 20
 switchport mode access
!
interface FastEthernet0/4
 switchport access vlan 20
 switchport mode access
!
interface FastEthernet0/5
 switchport access vlan 20
 switchport mode access
!
```

```
interface FastEthernet0/6
switchport access vlan 20
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/7
switchport access vlan 20
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/8
switchport access vlan 20
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/9
switchport access vlan 40
switchport mode trunk
!
interface FastEthernet0/10
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/11
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/12
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/13
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/14
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/15
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/16
switchport access vlan 30
switchport mode access
!
interface FastEthernet0/17
!
interface FastEthernet0/18
!
interface FastEthernet0/19
```

```
!  
interface FastEthernet0/20  
!  
interface FastEthernet0/21  
!  
interface FastEthernet0/22  
!  
interface FastEthernet0/23  
!  
interface FastEthernet0/24  
!  
interface GigabitEthernet0/1  
!  
interface GigabitEthernet0/2  
!  
interface Vlan1  
  no ip address  
  no ip route-cache  
  shutdown  
!  
ip http server  
!  
line con 0  
line vty 5 15  
!  
!  
!  
monitor session 1 source interface Fa0/1 , Fa0/10  
monitor session 1 destination interface Fa0/24  
end
```

## Liite 2. PBX1 wanpipe1.conf konfiguraatiodosto.

```
#=====
# WANPIPE1 Configuration File
#=====
#
# Date: Wed Dec 6 20:29:03 UTC 2006
#
# Note: This file was generated automatically
#       by /usr/local/sbin/setup-sangoma program.
#
#       If you want to edit this file, it is
#       recommended that you use wancfg program
#       to do so.
#=====
# Sangoma Technologies Inc.
#=====
```

```
[devices]
wanpipe1 = WAN_AFT_TE1, Comment
```

```
[interfaces]
w1g1 = wanpipe1, , TDM_VOICE, Comment
```

```
[wanpipe1]
CARD_TYPE = AFT
S514CPU   = A
CommPort  = PRI
AUTO_PCISLOT      = NO
PCISLOT    = 2
PCIBUS     = 7
FE_MEDIA   = E1
FE_LCODE   = HDB3
FE_FRAME   = NCRC4
FE_LINE    = 1
TE_CLOCK   = MASTER
TE_REF_CLOCK      = 0
TE_SIG_MODE      = CCS
TE_HIGHIMPEDANCE = NO
TE_RX_SLEVEL     = 430
HW_RJ45_PORT_MAP = DEFAULT
LBO           = 1200H
FE_TXTRISTATE  = NO
MTU           = 1500
```

```

UDPPORT    = 9000
TTL        = 255
IGNORE_FRONT_END    = NO
TDMV_SPAN      = 1
TDMV_DCHAN     = 16
TE_AIS_MAINTENANCE = NO          #NO: default YES: Start port in AIS Blue
Alarm and keep line down
                                #wanpipemon -i w1g1 -c Ttx_ais_off to disable AIS
maintenance mode
                                #wanpipemon -i w1g1 -c Ttx_ais_on to enable
                                # YES: receive dtmf events from hardware
ble AIS maintenance mode
                                # YES: receive fax 1100hz
TDMV_HW_DTMF      = NO
TDMV_HW_FAX_DETECT
events from hardware
                                # OCT_NORMAL:
HWEC_OPERATION_MODE = OCT_NORMAL
echo cancelation enabled with nlp (default)
                                # OCT_SPEECH: improves software
                                # OCT_NO_ECHO: disables echo
ware tone detection by disabling NLP (echo possible)
cancelation but allows VQE/tone functions.
                                # NO: default YES: remove dtmf out of in-
HWEC_DTMF_REMOVAL = NO
coming media (must have hwdtmf enabled)
                                # NO: default YES: reduces
HWEC_NOISE_REDUCTION
noise on the line - could break fax
                                # NO: default YES: enables acustic echo can-
HWEC_ACUSTIC_ECHO = NO
celation
                                # NO: default YES: guarantees software tone
HWEC_NLP_DISABLE  = NO
detection (possible echo)
                                # 0: disable -40-0: default tx audio level to
HWEC_TX_AUTO_GAIN = 0
be maintained (-20 default)
                                # 0: disable -40-0: default tx audio level to
HWEC_RX_AUTO_GAIN = 0
be maintained (-20 default)
                                # 0: disable -24-24: db values to be applied
HWEC_TX_GAIN      = 0
to tx signal
                                # 0: disable -24-24: db values to be applied
HWEC_RX_GAIN      = 0
to tx signal

[w1g1]
ACTIVE_CH = ALL
TDMV_HWEC = YES
MTU       = 8

```

### Liite 3. PBX2 wanpipe1.conf konfiguraatitiedosto.

```

#=====
# WANPIPE1 Configuration File
#=====
#
# Date: Wed Dec 6 20:29:03 UTC 2006
#
# Note: This file was generated automatically
#       by /usr/local/sbin/setup-sangoma program.
#
#       If you want to edit this file, it is
#       recommended that you use wancfg program
#       to do so.
#=====
# Sangoma Technologies Inc.
#=====

```

[devices]

wanpipe1 = WAN\_AFT\_TE1, Comment

[interfaces]

w1g1 = wanpipe1, , TDM\_VOICE, Comment

[wanpipe1]

```

CARD_TYPE   = AFT
S514CPU     = A
CommPort    = PRI
AUTO_PCISLOT = NO
PCISLOT     = 2
PCIBUS      = 7
FE_MEDIA    = E1
FE_LCODE    = HDB3
FE_FRAME    = NCRC4
FE_LINE     = 1
TE_CLOCK    = NORMAL
TE_REF_CLOCK      = 0
TE_SIG_MODE       = CCS
TE_HIGHIMPEDANCE = NO
TE_RX_SLEVEL     = 430
HW_RJ45_PORT_MAP = DEFAULT
LBO              = 1200H
FE_TXTRISTATE    = NO
MTU              = 1500
UDPPORT         = 9000
TTL             = 255

```

```

IGNORE_FRONT_END = NO
TDMV_SPAN          = 1
TDMV_DCHAN         = 16
TE_AIS_MAINTENANCE = NO          #NO: default YES: Start port in AIS Blue
Alarm and keep line down
                                #wanpipemon -i w1g1 -c Ttx_ais_off to disable AIS
maintenance mode

                                #wanpipemon -i w1g1 -c Ttx_ais_on to enable AIS maintenance mode
TDMV_HW_DTMF       = NO          # YES: receive dtmf events from hardware
TDMV_HW_FAX_DETECT = NO          # YES: receive fax 1100hz
events from hardware
HWEC_OPERATION_MODE = OCT_NORMAL # OCT_NORMAL:
echo cancelation enabled with nlp (default)

                                # OCT_SPEECH: improves software tone
detection by disabling NLP (echo possible)

                                # OCT_NO_ECHO:disables echo cancelation
but allows VQE/tone functions.
HWEC_DTMF_REMOVAL = NO          # NO: default YES: remove dtmf out of in-
coming media (must have hwdtmf enabled)
HWEC_NOISE_REDUCTION = NO      # NO: default YES: reduces
noise on the line - could break fax
HWEC_ACUSTIC_ECHO   = NO          # NO: default YES: enables acustic echo can-
celation
HWEC_NLP_DISABLE    = NO          # NO: default YES: guarantees software tone
detection (possible echo)
HWEC_TX_AUTO_GAIN   = 0          # 0: disable -40-0: default tx audio level to
be maintained (-20 default)
HWEC_RX_AUTO_GAIN   = 0          # 0: disable -40-0: default tx audio level to
be maintained (-20 default)
HWEC_TX_GAIN        = 0          # 0: disable -24-24: db values to be applied
to tx signal
HWEC_RX_GAIN        = 0          # 0: disable -24-24: db values to be applied
to tx signal

[w1g1]
ACTIVE_CH = ALL
TDMV_HWEC = YES
MTU       = 8

```

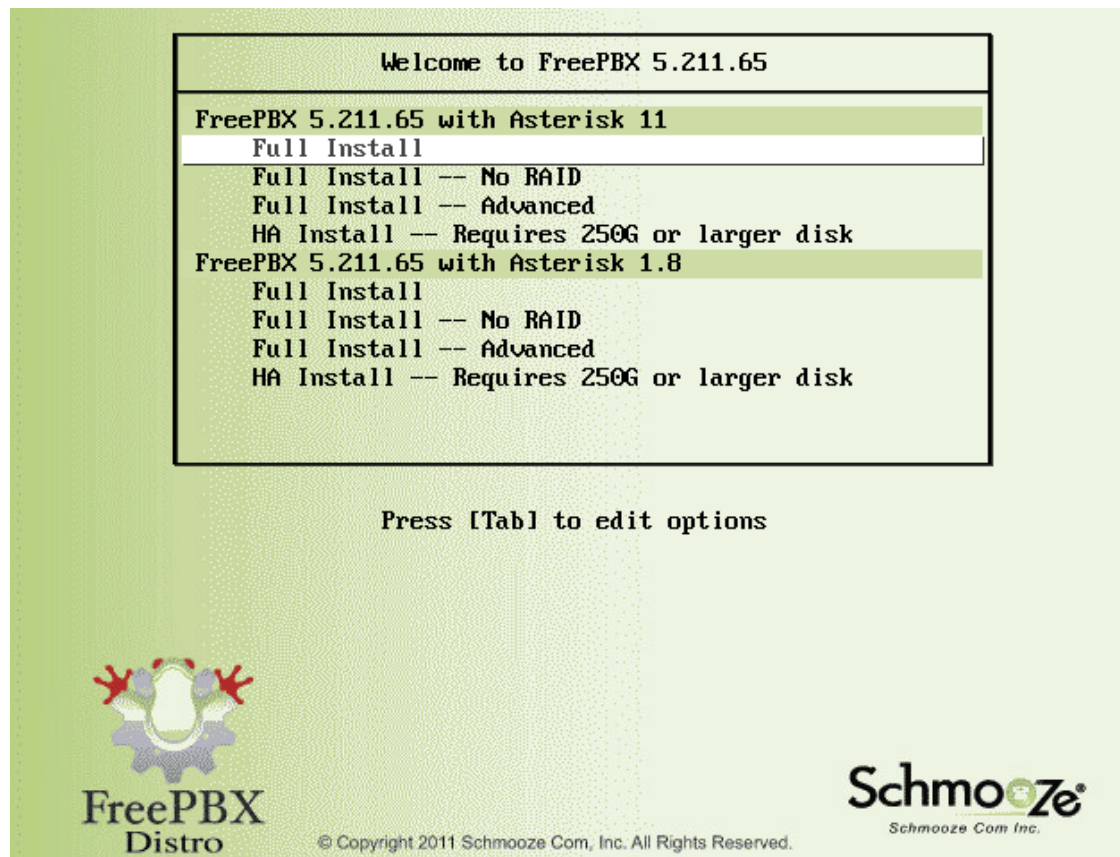
## Liite 4. FreePBX asennusohje.

Tässä ohjeessa asennetaan FreePBX Distro versiota 5.211.65.

Aseta käytettävä asennus DVD asemaan, käynnistä palvelin ja tarvittaessa määritä koneen BIOS asetuksista "Boot Device" osoittamaan DVD-asemaa. Käyttäessäsi muuta asennusmediaa, muuta asetukset vastaamaan käyttämäsi tapaa.

### 1. Asennuksen aloitus.

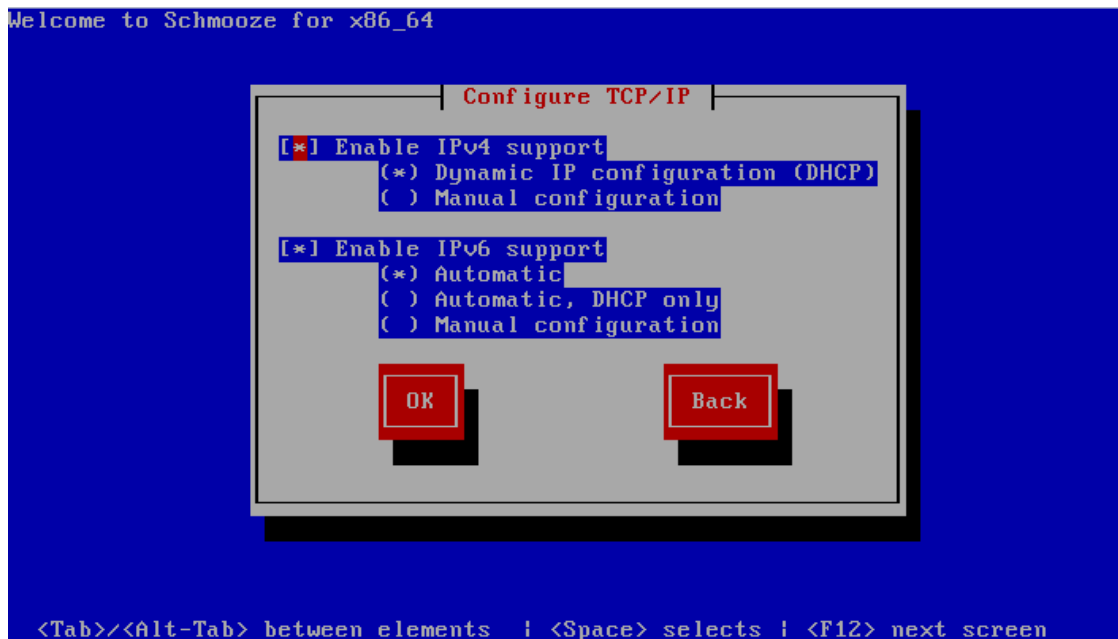
Järjestelmän käynnistyessä DVD:ltä tulee kuvan 1 kaltainen ruutu näkyviin. Valitse "Full Install" kuvan osoittamasta kohdasta.



Kuva 1. Asennuksen aloitus

### 2. Verkkoasetukset

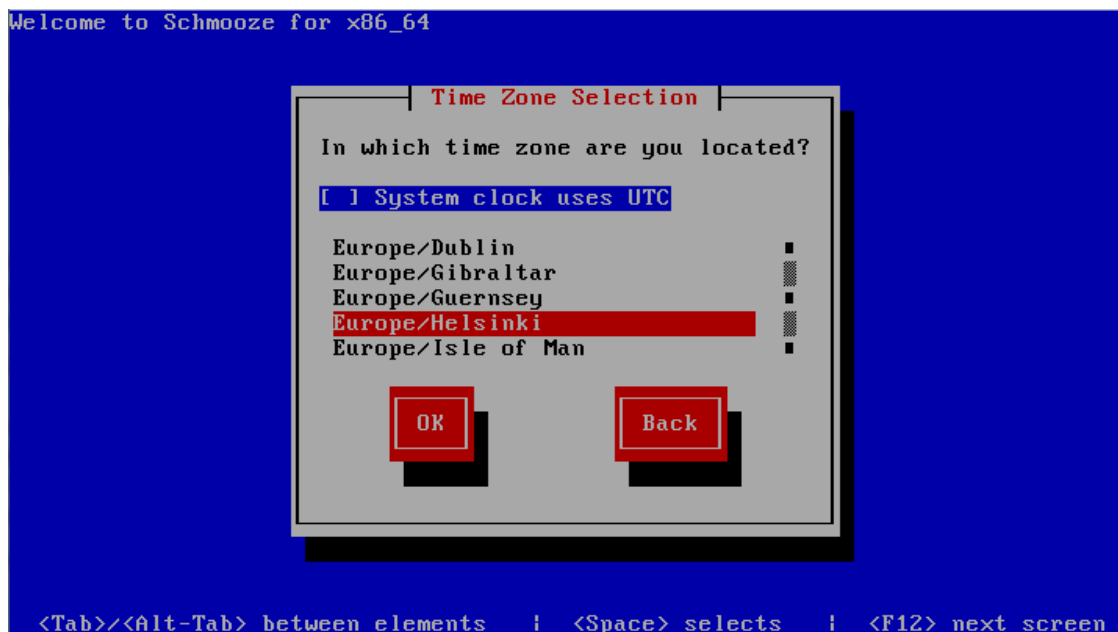
Tämän jälkeen asennus pyytää antamaan käytettävän verkon asetukset kuvan 2 mukaisesti. Jos ympäristössä on DHCP-palvelin joka antaa IP-osoitteet automaattisesti ja tätä tulee käyttää, jätä oletusasetukset voimaan. Muutoin anna käytettävä IP-osoite, aliverkon peite ja DNS-palvelimien osoitteet käyttämällä "Manual configuration" vaihtoehtoa.



Kuva 2. Verkkoasetukset

### 3. Kello

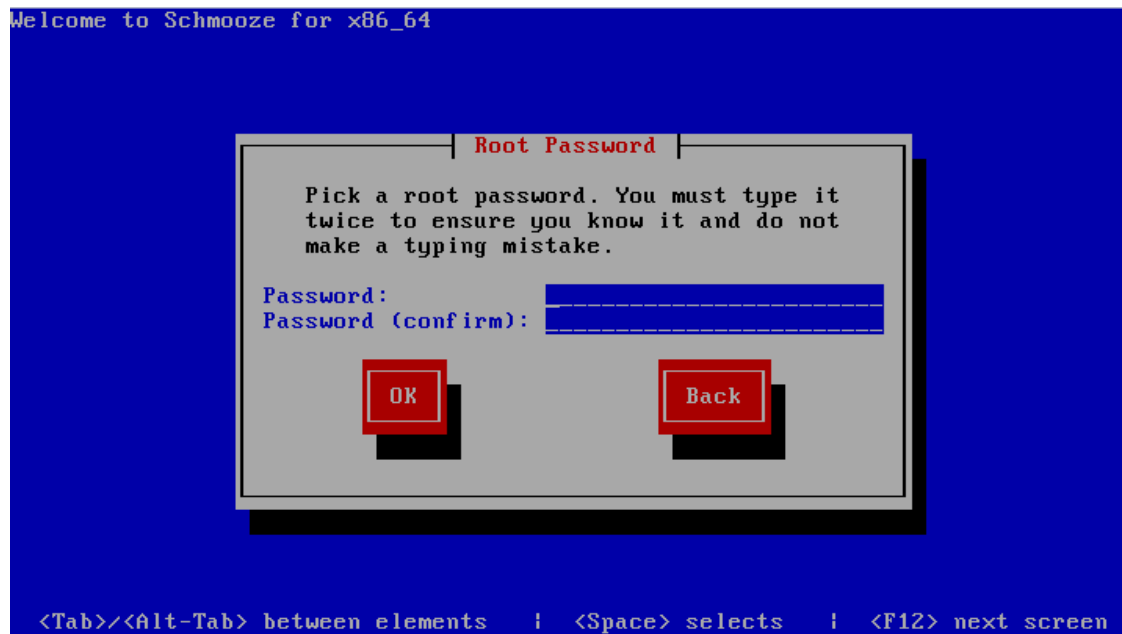
Seuraavaksi asetetaan järjestelmän kellon asetukset. Kuvassa 3 on korostettuna Suomessa käytettävä asetus.



Kuva 3. Järjestelmän kellon asetukset

## 4. Pääkäyttäjän salasana

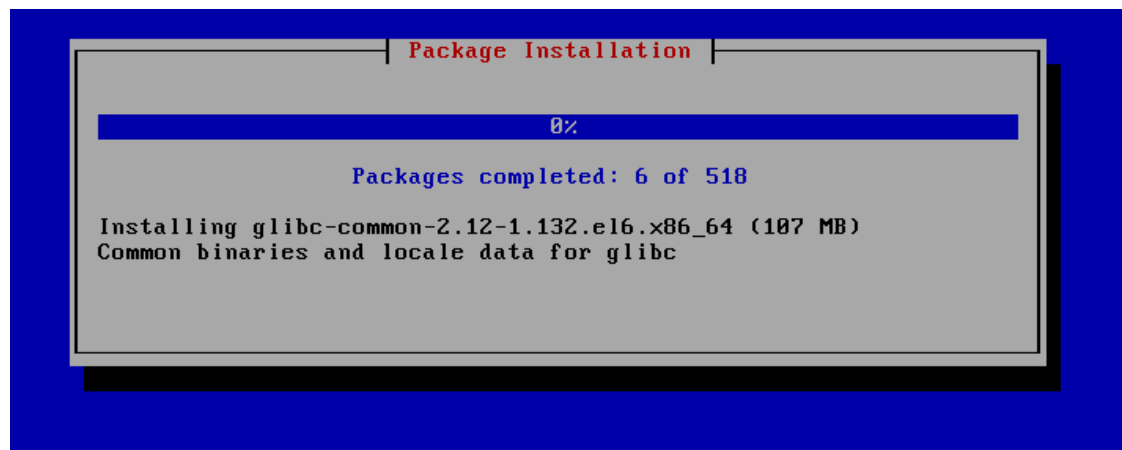
Tämän jälkeen asennusohjelma pyytää antamaan root-käyttäjän salasanan kuvan 4 mukaisessa ikkunassa. Anna salasana kahteen kertaan, salasanan tulee sisältää kirjaimia ja numeroita.



Kuva 4. Root-käyttäjän salasana

## 5. Asennus alkaa

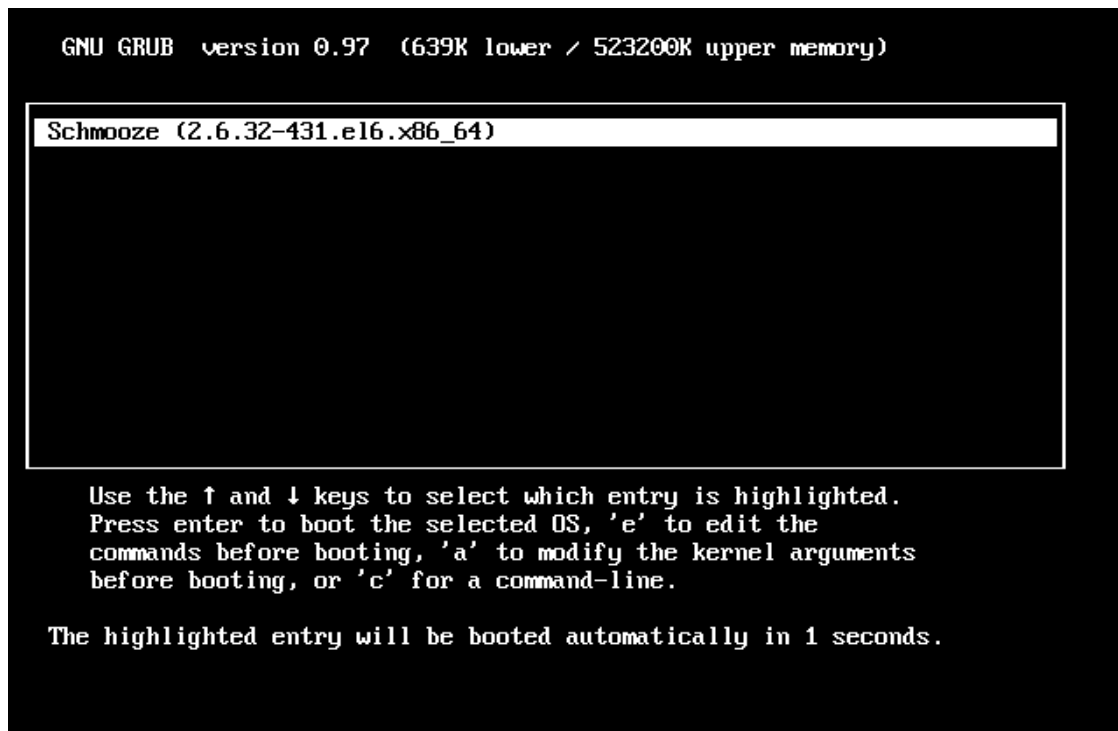
Annettuasi salasanan pääkäyttäjälle, aloittaa ohjelma asentamaan FreePBX:n koneelle. Asennus voi kestää pitkään, riippuen käytettävän koneen resursseista. Kuvassa 5 on havainnollistettu tämän vaiheen ikkuna.



Kuva 5. Asennus

## 6. Käynnistysvalinta

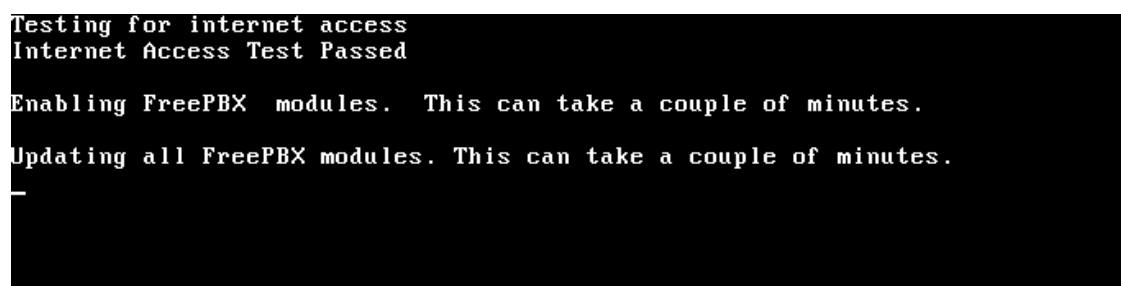
Asennuksen valmistuttua käynnistyy järjestelmä uudelleen, kuvan 6 valikko tulee näkyviin koneen käynnistyessä. Jos koneelle on asennettu useampi käyttöjärjestelmä, tulee vaihtoehtoja useampi valittavaksi. Käynnistyminen jatkuu automaattisesti eteenpäin, kun mitään valintoja ei tehdä.



Kuva 6. Käynnistys

## 7. Päivitykset

Ensimmäisellä käynnistyskerralla ohjelmisto päivittää itsensä kuvan 7 mukaisilla ilmoituksilla, jos Internet-yhteys on saatavilla. Älä sammuta konetta tässä vaiheessa.



Kuva 7. Asennuksen päivitys

## 8. Login-ruutu

Kun päivitykset ovat suoritettu, pyytää järjestelmä kirjautumaan sisään kuvan 8 mukaisesti. Käyttäjänimeksi tulee "root" ja salasanaksi aiemmin määrittämäsi salasana.

```
SHMZ release 6.5 (Final)
Kernel 2.6.32-431.el6.x86_64 on an x86_64

localhost login: _
```

Kuva 8. Kirjautuminen

## 9. Tervetuloa-ruutu

Kirjaututtuasi sisään tulee näkyviin kuvan 9 tapainen ilmoitus. Tässä on nähtävillä järjestelmä IP-osoite jota käyttämällä voidaan käyttää graafista käyttöliittymää selainikkunassa. Tässä esimerkissä on käytetty osoitetta 192.168.40.1 joka asetettiin kohdassa 4.

```
SHMZ release 6.5 (Final)
Kernel 2.6.32-431.el6.x86_64 on an x86_64

localhost login: root
Password:
Last login: Fri Apr 25 20:17:33 on tty1

┌──────────┴──────────┐
│  FreePBX  │
└──────────┬──────────┘

Interface eth0 IP: 192.168.40.1

Please note most tasks should be handled through the FreePBX UI.
You can access the FreePBX GUI by typing one of the above IP's in to your web browser.
For support please visit http://www.freepbx.org/support-and-professional-services

[root@localhost ~]#
```

Kuva 9. Ensimmäinen sisäänkirjautuminen

## 10. Sangoma asetukset

Käynnistäaksesi linjakortin konfiguroinnin anna seuraavaksi komentorivillä komento:  
*setup-sangoma*

Sangoman WANPIPE konfigurointityökalu käynnistyy kuvan 10 kaltaisella ruudulla. Ensimmäisessä valinnassa valitaan Asterisk/Dahdi Support.

```

-----
                WANPIPE v7.0.10 Installation Script
                Copyright (c) 1995-2013, Sangoma Technologies Inc.
-----

Please Select Compilation Mode

1. WAN Protocols Support
   Protocols: Frame Relay, CHDLC, PPP, ATM, X25, ADSL, TDM API
   Default for: Wan Routing, Data & Voice API devel.

2. Asterisk/Dahdi Support
   Asterisk protocols: libpri (PRI,BRI), Analog (FXO/FXS), libss7 (SS7)
   Default for: Asterisk

3. Asterisk/Dahdi + WAN Protocol Support

4. TDM API (libsangoma)
   Protocols: TDM API (libsangoma) on AFT adapters:
   Default for: FreeSWITCH, Yate, Sunrise
               Custom voice development

5. Custom Compilation Mode
   Specify protocols to be added into the WANPIPE
   kernel drivers.

6. Deprecated: SMG (BRI) (Asterisk SMG/BRI [Use Asterisk/Dahdi option 2 instead]
)

7. Deprecated: SMG (BRI) + Asterisk/Dahdi [Use Asterisk/Dahdi option 2 instead]

Please select (1-7) [Default: 1]: 

```

Kuva 10. WANPIPE asennus

Kun ajurit tunnistavat linjakortin, pyytää työkalu asetukset esittämällä sarjan kysymyksiä kuvan 11 tapaisesti.

```

#####
#                               Sangoma Wanpipe                               #
#       Dahdi/Zaptel/SMG/TDMAPI/BOOT Configuration Script                       #
#                               v2.39                                         #
#                               Sangoma Technologies Inc.                       #
#                               Copyright(c) 2013.                             #
#####

Generating configuration files for Trixbox
-----
Configuring T1/E1 cards [A101/A102/A104/A108/A116/T116]
-----
A104 detected on slot:2 bus:7

-----
Configuring port 1 on A104 slot:2 bus:7.
-----

Select media type for AFT-A104 on port 1 [slot:2 bus:7 span:1]
 1. T1
 2. E1
 3. Unused
 4. Exit
[1-4]:

```

Kuva 11. WANPIPE konfigurointi

Alla olevassa taulukossa on esitetty esimerkkiasetukset työkalua käyttäen. Dialplan asetus valitaan sen mukaan onko puhelinvaihte kytketty sisäiseen puhelinverkkoon vai operaattorin verkkoon (PSTN).

Valinta	Asetus
Media type	E1
Line coding	HDB3
Framing	NCRC4
Clock	Normal
Signaling	PRI CPE
Switchtype	euroISDN
DTMF	Yes
Fax detection	No
Dialplan	Internal / from PSTN

## 11.FreePBX pääkäyttäjän salasana

Kun selaimella avataan puhelinvaihteen etusivu käyttämällä aiemmin määritettyä IP-osoitetta, avautuu ensimmäisellä käyttökerralla kuvan 12 tapainen ikkuna. Tässä vaiheessa määritetään yhden pääkäyttäjän käyttäjänimi ja salasana, jonka avulla päästään konfiguroimaan puhelinvaihdetta.

FreePBX Support | ISymphony Panel | User Panel

**Welcome to FreePBX Administration!**

---

Initial setup

---

Please provide the core credentials that will be used to administer your system

Username

Password

Confirm Password

Admin Email address

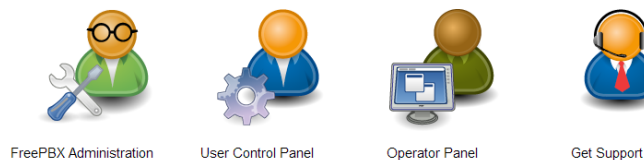
Confirm Email address

[Set up my Account](#)

Kuva 12. Pääkäyttäjän tunnuksen luonti

## 12. Ylläpito

Kun tunnus on luotu, tulee näkyville kuvan 13 kaltainen valintaikkuna. Jotta voidaan konfiguroida puhelinvaihteen toimintaa, tulee valita FreePBX Administration.



Kuva 13. Ylläpito valikko

Valinnan jälkeen nähtäväksi tulee puhelinvaihteen status-ruutu joka on kuvan 14 kaltainen. Ruudulla nähdään perustietoja puhelinvaihteen tilasta.

**FreePBX System Status**

**FreePBX Notices**

- Default Asterisk Manager Password Used
- Collecting Anonymous Browser Stats
- No email address for online update checks

show all

**FreePBX Statistics**

Total active calls	0
Internal calls	0
External calls	0
Total active channels	0

**FreePBX Connections**

**Uptime**

**System Uptime:** 7 minutes  
**Asterisk Uptime:** 6 minutes  
**Last Reload:** 6 minutes

**System Statistics**

**Processor**

Load Average	0.00
CPU	0%

**Memory**

App Memory	46%
Swap	0%

**Disks**

/	27%
/dev/shm	0%
/boot	11%

**Networks**

eth0 receive	1.04 KB/s
eth0 transmit	6.33 KB/s

**Server Status**

Asterisk	OK
MySQL	OK
Web Server	OK
SSH Server	OK

Kuva 14. FreePBX Status

### 13. Verkkoasetukset

Jos puhelinvaihteen verkkoasetuksia tarvitsee muuttaa asennuksen jälkeen, se tapahtuu Admin-valikosta System Admin moduulia käyttämällä. Add virtual interface toimintoa käyttämällä puhelinvaihteelle voidaan luoda virtuaalisia alirajapintoja esimerkiksi tilanteessa, jossa sen tarvitsee liikennöidä useammassa VLAN:ssa yhtä fyysistä liitäntää käyttämällä. Valikko on havainnollistettu kuvassa 15.

Network Interface: eth0 (1.59Mb/1.76Mb) ▾  
 Interface Name: eth0  
 IP Protocol:  None  DHCP  BOOTP  
 Static IP: enter ip address  
 Netmask: netmask  
 Gateway: gateway  
 Mac Address: 00:1E:90:39:08:75  
 On Boot:  Yes  No

Kuva 15. Verkkoasetukset

## 14.Puhelinnumeron luonti

Applications-valikosta valitaan Extension. Jos numeroa käyttävä päätelaite käyttää SIP-protokollaa, valitaan Generic SIP Device ja klikataan Submit. Kuvassa 16 on havainnollistettu kyseinen valintaikkuna.

Add an Extension  
 Please select your Device below then click Submit  
 - Device  
 Device: Generic SIP Device ▾

Kuva 16. SIP Extensionin luonti

Käyttäjätietoihin tarvitaan vähintään käytettävä numero, nimi ja salasana. User Extension kohdassa määritellään käytettävä puhelinnumero. Display Name kohdassa määritellään käytettävä nimi joka voi olla esimerkiksi käyttäjän koko nimi. SIP Alias kohdassa voidaan määrittää käyttäjänimi jota voidaan käyttää puhelinnumeron tapan soittaessa. Secret kenttä määrittää käytettävän salasanan. Kuvassa 17 on havainnollistettu tässä käytettävä sivu.

Jos päätelaitteen (esim. Avaya IP-puhelimet) eivät voi käyttää muita kuin numeroita salanasassa, tulee salasanan muotoa koskeva asetus käydä muuttamassa. Valinta löytyy Settings->Advanced Settings->Require strong secrets. Asetuksen tulee olla arvossa false.

**Add SIP Extension**

- Add Extension

User Extension

Display Name

CID Num Alias

SIP Alias

- Extension Options

Outbound CID

Asterisk Dial Options   Override

Ring Time

Call Forward Ring Time

Outbound Concurrency Limit

Call Waiting

Internal Auto Answer

Call Screening

Pinless Dialing

Emergency CID

Queue State Detection

- Assigned DID/CID

DID Description

Add Inbound DID

Add Inbound CID

- Device Options

This device uses sip technology.

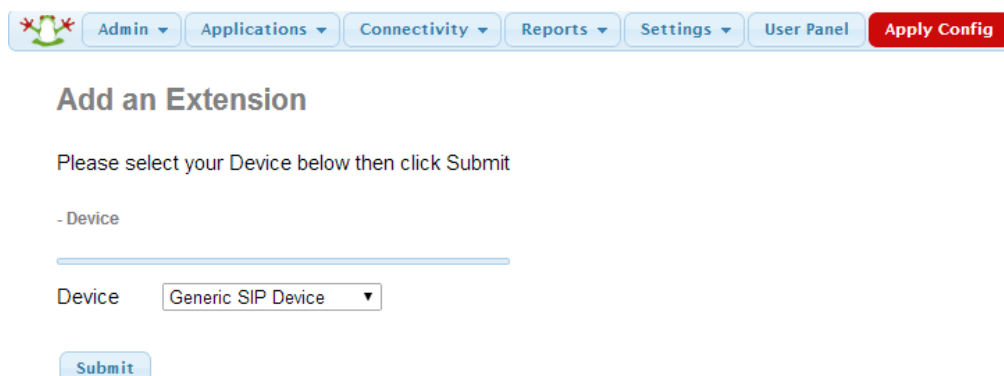
secret

dtmfmode

nat

Kuva 17. SIP Extension

Kun käyttäjätiedot on syötetty, tulee lopuksi asettaa muutokset käyttöön klikkaamalla punaista Apply Config-painiketta. Kuvassa 18 nähdään käyttäjätietojen syötön jälkeinen ruutu jonka oikeassa yläkulmassa painike on nähtävillä.



\* \* \* Admin ▾ Applications ▾ Connectivity ▾ Reports ▾ Settings ▾ User Panel **Apply Config**

### Add an Extension

Please select your Device below then click Submit

- Device

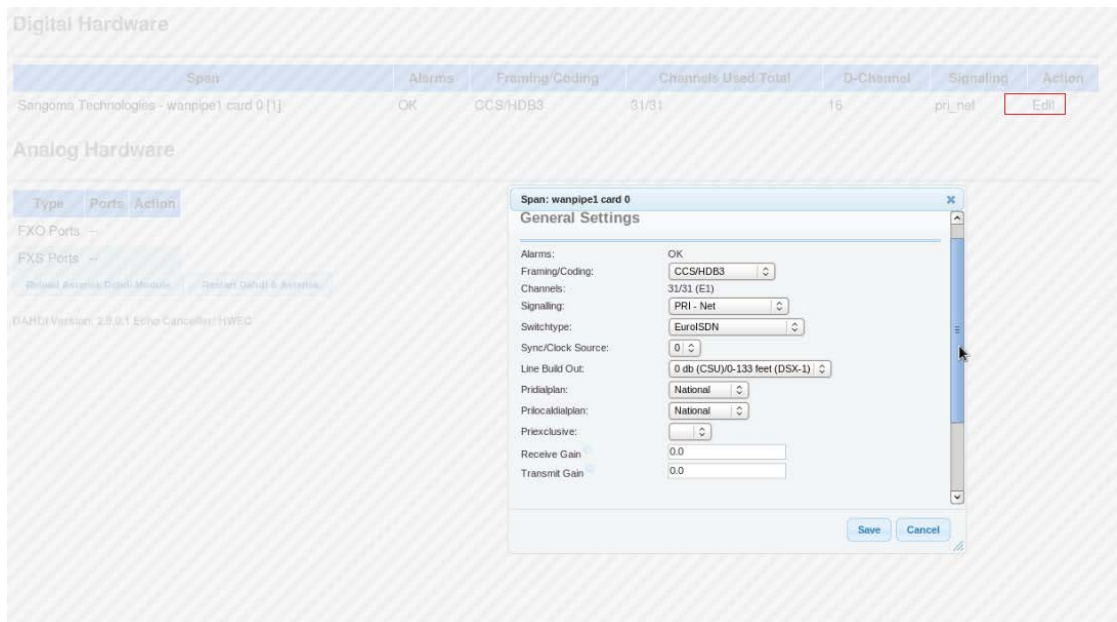
---

Device

Kuva 18. Apply Config

## 15.DAHDl Trunk konfiguraatio

Seuraavaksi varmistetaan linjakortin asetukset FreePBX:n osalta. Connectivity-valikosta valitaan DAHDl Configuration, jolloin aukeaa kuvan 19 kaltainen ikkuna. Valitsemalla halutun linjan kohdalta edit (korostettu kuvassa punaisella), päästään kyseisen linjan valintoihin käsiksi. Signalointi tulee olla PRI-CPE jos laitteen ei ole tarkoitus toimia operaattorin laitteena. Switchtype, Framing ja muut asetukset tulee olla kuten aiemmin kohdassa 10 määritettiin.



Kuva 19. DAHDI Configuration

Kun linjakortin asetukset ovat varmistettu, määritetään linjalle trunk. Connectivity-valikosta valitaan Trunks. Avautuvasta valikosta DAHDI Trunk. Seuraavaksi avautuu kuvan 20 kaltainen sivu. Yhteydelle määritetään nimi, Outbound CID ja muut halutut asetukset. Outgoing settings kohdan DAHDI Trunks valikosta voidaan valita mitä kanavaryhmää käytetään tälle trunkille, jos yhteys on ositettu useampaan kuin yhteen kanavaryhmään.

Admin Applications Connectivity Reports Settings User Panel

Delete Trunk euroISDN-trunk

In use by 1 route

General Settings

Trunk Name : euroISDN-trunk

Outbound CallerID : 2000

CID Options : Allow Any CID

Maximum Channels :

Asterisk Trunk Dial Options : Tt  Override

Continue if Busy :  Check to always try next trunk

Disable Trunk :  Disable

Dialed Number Manipulation Rules

(prepend ) + prefix | match pattern

+ Add More Dial Pattern Fields Clear all Fields

Dial Rules Wizards : (pick one)

Outbound Dial Prefix :

Outgoing Settings

DAHDI Trunks : Group 0 Round Robin Ascending

Configure/Edit DAHDI Cards

Extension Routes

**Extension Routes is not registered**  
The free Extension Routes module is installed, but not registered.

Submit Changes Duplicate Trunk

Kuva 20. DAHDI Trunk

## 16. Outbound route asetukset

Seuraavaksi määritetään puhelinvaihteelle reitti ulos. Connectivity-valikosta valitaan Outbound route jolloin avautuu kuvan 21 kaltainen sivu. Reitille määritetään nimi, haluttu numeroavaruus johon soitettua numeroa verrataan sekä käytettävät trunkit. Kuvan esimerkissä Dial patterns kohdan 1XXX ohjaa kaikki puhelut numeroihin 1000-1999 kulkemaan tätä reittiä pitkin. Trunk sequence asetuksella voidaan valita haluttaessa useampi eri yhteys tälle reitille, jolloin saadaan määritettyä esimerkiksi va- rayhteys ensimmäisen ruuhkautuessa/vikaantuessa.

Route Settings

Route Name :

Route CID:   Override Extension

Route Password:

Route Type:  Emergency  Intra-Company

Music On Hold?

Time Group:

Route Position

Additional Settings

Call Recording :

PIN Set :

Extension Routes

**Extension Routes is not registered**  
The free Extension Routes module is installed, but not registered.

Dial Patterns that will use this Route

(  ) +  | [1XXX] /

(prepend  ) + prefix | [match pattern] / CallerID

Dial patterns wizards :

Export Dialplans as CSV :

Trunk Sequence for Matched Routes

0

1

Kuva 21. Outbound route

## 17.Muuta

Jos puhelinvaihteet konfiguroidaan käyttämään SIP Trunkia, luodaan tämä myös Connectivity-valikon valinnalla Trunks. Luotaessa kahden vaihteen välille SIP trunkkia, tulee huomioida palvelinten välisen yhteyden asetuksista käytettävä tunnistautuminen. Kuvassa 22 on havainnollistettu kahden puhelinvaihteen asetukset. Punaisella on korostettu PBX1:n tietoihin luotu käyttäjä, joka vastaavasti on PBX2:n PEER-osiossa. USER Context kohdan nimi on siis sama kuin käyttäjätunnus.

### Outgoing Settings PBX1

---

Trunk Name:

PEER Details:

```
host=192.168.40.2
username=PBX1
fromuser=PBX1
secret=Salas4n4
type=peer
```

### Outgoing Settings PBX2

---

Trunk Name:

PEER Details:

```
host=192.168.40.1
username=PBX2
fromuser=PBX2
secret=Salas4n4
type=peer
```

### Incoming Settings

USER Context:

USER Details:

```
secret=Salas4n4
type=user
context=from-trunk
```

### Incoming Settings

USER Context:

USER Details:

```
secret=Salas4n4
type=user
context=from-trunk
```

Kuva 22. SIP Trunk - outgoing settings

Alla olevaan taulukkoon on koottu tarvittavat toimenpiteet muistilistan tapaisesti.

	Käyttäjärjestelmän ja puhelinvaihtesovelluksen asennus
	WANPIPE asetukset
	FreePBX pääkäyttäjän tunnukset
	Puhelinvaihteen verkkoasetukset
	DAHDI Config
	DAHDI Trunk / SIP Trunk
	Outbound route
	Puhelinnumerot (Extensions)