

# IP-puhejärjestelmien laboratoriotyöt

Niko Jääskeläinen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2014

Tietotekniikan koulutusohjelma

Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Jääskeläinen, Niko	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 8.12.2014
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkajulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi <b>IP-puhejärjestelmien laboratoriotyöt</b>		
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kotikoski, Sampo Saharinen, Karo		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu Hallberg, Jani		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Työn tavoitteena oli kehittää reaaliaikasovellusten opintojakson laboratoriotöiden toimivuutta ja koulutuksellista lisäarvoa. Tavoitteena oli todentaa harjoitusten toimivuus ja tehdä tarvittavat korjaukset harjoituksiin. Lisäksi harjoitusten ohjeet oli päivitettävä ja työssä tuli ideoida harjoitusten jatkokehitystä.</p> <p>Työssä kartoitettiin opintojakson laboratoriotöiden kehittämismahdollisuuksia. Kartoituksen pohjalta työssä suunniteltiin, toteutettiin, testattiin ja dokumentoitiin korjaukset ja uudet ominaisuudet valittuihin töihin. Harjoitusten puutteet listattiin. Harjoitukset korjattiin ja niihin lisättiin tarvittavat lisäykset. Opinnäytetyö koostuu seuraavien harjoitusten tutkimuksesta ja kehityksestä: Asterisk, 3CX, Cisco CallManager ja Cisco CallManager Express. Lisäksi uusi kehitettiin uusi SIP-harjoitus.</p> <p>Lopputuloksena työssä toteutettiin toimivat harjoitukset kurssia varten. Töiden aikaisemmat virheet saatiin korjattua, harjoitusten ohjeet päivitettyä ja jatkokehitystä varten saatiin luotua uusia ideoita.</p>		
Avainsanat ( <u>asiasanat</u> ) VoIP, Asterisk, CallManager, SCCP, SIP.		
Muut tiedot -		



Author(s) Jääskeläinen, Niko	Type of publication Bachelor's thesis	Date 8.12.2014
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 50	Permission for web publication: X
Title of publication <b>IP-phone systems laboratory exercises</b>		
Degree programme Information Technology		
Tutor(s) Kotikoski, Sampo Saharinen, Karo		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences Hallberg, Jani		
Abstract <p>This bachelor's thesis was assigned by JAMK University of Applied Sciences. The aim for this work was to develop performance and educational value of laboratory exercises for Real-time Applications-course and implement working exercises for the course as well as to fix errors in the previous installments. Additionally the guides for the work were to be updated and new ideas for exercises to be developed.</p> <p>The thesis surveys development options for laboratory exercises. The survey is used to plan, implement, test and document fixes and new features to the selected assignments. Shortcomings of the exercises were to be listed and corrections and additions implemented to the exercises. The thesis consists of research and development of the following exercises: Asterisk, 3CX, Cisco CallManager and Cisco CallManager Express. The aim was to verify the functionality of the exercises and make the necessary corrections. Additionally, a new exercise focusing on SIP-protocol was developed.</p> <p>The result for this thesis were working exercises for the course. All the errors on the exercises were corrected. The guides for the exercises were updated and ideas for further improvements were also provided.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) VoIP, Asterisk, CallManager, SCCP, SIP.		
Miscellaneous -		

## Sisältö

Lyhenteet.....	4
1 Lähtökohdat .....	5
1.1 JAMK .....	5
1.2 Reaaliaikasovellukset.....	5
1.3 Opinnäytetyön tavoitteet .....	6
2 VoIP-teoria ja käytettävät järjestelmät .....	7
2.1 VoIP vs IP-puhelinliikenne .....	7
2.2 Session Initiation Protocol.....	8
2.2.1 Yleistä SIP:stä.....	8
2.2.2 SIP:n komponentit.....	8
2.2.3 SIP-osoitteet .....	9
2.2.4 SIP-sanomat.....	10
2.2.5 Esimerkkejä SIP:stä.....	12
2.3 Session Description Protocol .....	14
2.4 Skinny Call Control Protocol .....	16
2.4.1 Yleistä .....	16
2.5 Real-time Transport Protocol .....	19
2.6 Real Time Control Protocol.....	20
2.7 Inter-Asterisk eXchange.....	22
2.7.1 Kehykset .....	22
2.7.2 Puhelun aloittaminen .....	24
2.7.3 Puhelunohjaus.....	24
2.8 Puheen pakkaus.....	25
2.8.1 G.711 .....	25
2.9 Käytetyt puhejärjestelmät.....	26
2.9.1 Asterisk.....	26

		2
2.9.2	Cisco CallManager .....	27
2.9.3	3CX.....	28
2.10	Käytetyt päätelaitteet .....	28
2.10.1	Cisco SPA504G.....	28
2.10.2	Linksys SPA942 .....	28
2.10.3	Cisco Unified IP Phone 7940G.....	29
2.10.4	Cisco 7910G.....	29
2.10.5	Cisco IP Conference Station 7935 .....	29
2.10.6	Grandstream BudgeTone 100 .....	29
2.10.7	Cisco ATA 186.....	30
2.10.8	Linksys PAP2T .....	30
3	Laboratorioharjoitukset .....	31
3.1	Harjoitukset .....	31
3.1.1	Asterisk-harjoitus .....	31
3.1.2	3CX-harjoitus.....	32
3.1.3	Cisco CallManager – harjoitus.....	33
3.1.4	Cisco CallManager Express – harjoitus.....	34
3.1.5	SIP-harjoitus .....	35
3.1.6	Harjoitusten taustaa.....	36
3.1.7	Muutokset vanhoihin versioihin .....	39
3.2	Harjoitusten arviointi.....	40
3.2.1	Asterisk.....	40
3.2.2	3CX.....	40
3.2.3	Cisco CallManager .....	41
3.2.4	Cisco CallManager Express.....	41
3.2.5	SIP-harjoitus .....	41
3.2.6	Yhteenveto .....	42
3.3	Parannukset.....	43
4	Loppupäätelmät .....	45

Lähteet.....	47
Liitteet .....	50
Liite 1 3CX-puhejärjestelmän versiot .....	50

## Kuviot

Kuvio 1. SIP-rekisteröinti .....	13
Kuvio 2. Rekisteröinnin salaus.....	13
Kuvio 3. SIP-puhelu.....	14
Kuvio 4. SIP Invite osapuolet .....	14
Kuvio 5. SDP-kenttä .....	15
Kuvio 6. SCCP-rekisteröitymisviesti.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
Kuvio 7. SCCP StartMediaTransmission-paketti.....	18
Kuvio 8. RTP-paketti .....	20
Kuvio 9. Source description items – paketti.....	22
Kuvio 10. IAX kokonainen kehys.....	23
Kuvio 11. IAX mini kehys .....	24
Kuvio 12. Asterisk-harjoituksen looginen topologia .....	32
Kuvio 13. 3CX-harjoitukset looginen topologia.....	33
Kuvio 14. Cisco CM – harjoituksen looginen topologia.....	34
Kuvio 15. Cisco CME – harjoituksen looginen topologia.....	35
Kuvio 16. SIP-harjoitus topologia .....	36

**LYHENTEET**

ADPCM	Adaptive Differential Code Modulation
CM	CallManager
CME	CallManager Express
CUCM	Cisco Unified Communications Manager
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IAX	Inter-Asterisk eXchange
MGCP	Media Gateway Control Protocol
NAT	Network Address Translation
PBX	Private Branch Exchange
PCM	Pulse Code Modulation
RFC	request for Comments
RTP	Real-time Transport Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
SCCP	Skinny Call Control Protocol
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
S/MIME	Secure Multipurpose Internet Mail Extensions
TLS	Transport Layer Security
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Packet
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
URI	Universal Resource Identifier
VoIP	Voice over IP

# **1 LÄHTÖKOHDAT**

## **1.1 JAMK**

Jyväskylän ammattikorkeakoulu (JAMK) on 8500 opiskelijan korkeakoulu Jyväskylässä. JAMKin yksiköitä ovat ammatillinen opettajakorkeakoulu, hyvinvointiyksikkö, liiketoimintayksikkö sekä teknologiayksikkö. Toimipisteet sijaitsevat Jyväskylässä sekä Saarijärvellä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu tarjoaa korkeakoulututkintoon johtavaa koulutusta, ammatillista opettajakoulutusta, avoimia ammattikorkeakouluopintoja, täydennyskoulutusta, sekä oppisopimustyyppistä täydennyskoulutusta nuorille ja aikuisille. (Tutustu ja menesty. N.D.)

## **1.2 Reaaliaikasovellukset**

Reaaliaikasovellukset on 5 opintopisteen kurssi, joka on osa AMK-tutkinnon vaihtoehtoisia ammatinopintoja. Kurssin tavoitteena on opettaa opiskelijoita tunnistamaan keskeisimmät reaaliaikasovellukset, signaalointiprotokollat, siirtoprotokollat, verkkoelementit, koodausmenetelmät, puheen laatumittarit ja puheen siirron erityisvaatimukset. Opiskelijoiden tulee osata kurssin jälkeen konfiguroida ohjelmistoja ja laitteita puhelin- ja viestintäjärjestelmiin. Kurssilla opetetaan myös osoitemuunnokset, langattoman liitännän erityisominaisuudet, verkkotekniset erityisratkaisut, sekä tietoturvan toteutustavat. Kurssiin sisältyy 10 tuntia harjoitustöitä. (Opintojakson kuvaus 2012.)



### **1.3 Opinnäytetyön tavoitteet**

Opinnäytetyön aiheena on Reaaliaikasovellusten opintojakson laboratoriotöiden kehittäminen. Laboratoriotöiden tavoitteena on syventää opintojakson aihetta ja opiskelijoiden käsitystä VoIP-järjestelmistä. Opinnäytetyössä tavoitteena oli kartoittaa opintojakson laboratoriotöiden kehittämismahdollisuuksia. Kartoituksen pohjalta työssä suunniteltiin, toteutettiin, testattiin ja dokumentoitiin korjaukset sekä uudet ominaisuudet valittuihin töihin. Työssä tutkittiin ja kehitettiin seuraavia harjoituksia:

1. Asterisk-harjoitus
2. 3CX-harjoitus
3. Cisco CallManager – harjoitus
4. Cisco CallManager Express – harjoitus.

Vanhojen harjoitusten lisäksi opinnäytetyössä kehitettiin uusi SIP-protokollaan erityisesti painottuva harjoitus. Työn lopputuloksena kyseisten harjoitusten toimiminen on varmistettu ja niihin liittyvät epäkohdat on korjattu. Lisäksi laboratorioharjoitusten ohjeet on päivitetty ja opinnäytetyössä on ideoita harjoitusten jatkokehittämistä varten. Harjoituksissa käytetty laitteisto on listattu liitteissä 2-4.

## 2 VOIP-TEORIA JA KÄYTETTÄVÄT JÄRJESTELMÄT

### 2.1 VoIP vs IP-puhelinliikenne

Voice over IP (VoIP) eli IP-puhe ja IP-puhelinliikenne (IP Telephony) termejä käytetään usein synonyymeinä. Termien erona on IP-puhelinliikenne käsittää koko digitaalisten puhelin järjestelmien kentän, jotka pohjautuvat IP-protokolliin. IP-puhelinliikenteen avulla puhelinjärjestelmät pystytään digitalisoimaan ja nämä pystyvät hyödyntämään mitä tahansa Internetiin kytkettyä laitetta tai ohjelmistoa. (Nadeem. n.d.)

VoIP taas on väline, jonka avulla puheluita pystytään siirtämään digitaalisten verkkojen kautta. VoIP mahdollistaa halvemmat puhelut ja lukuisten eri ominaisuuksien lisäämisen kommunikointiin. IP-puhelinliikenne on siis eräänlainen konsepti ja VoIP sen sisällä toimiva tapa siirtää puheluita. Erimerkiksi IP-puhelinliikenne järjestelmä voi koostua IP-pohjaisesta PBX-laitteesta, jonka avulla voidaan soittaa VoIP-puheluita käyttäen SIP-signaalointiprotokollaa. (Mts.)

Ciscon määritelmän mukaan IP-puhelinliikenne tarjoaa väylän tarjota tietoturvallisen, luotettavan ja johdonmukaisen viestintäpalvelun työntekijöille pääkonttoreissa, sivukonttoreissa tai etätöissä. IP-puhelinliikenne lähettää puhetta tietoverkon ylitse käyttäen avoimen standardin Internet protokollaa. (IP Telephony. n.d.)

PC Magazine -lehden tietosanakirja mainitsee termien olevan synonyymejä. Mutta artikkeli kuitenkin korostaa VoIP:n yleensä tarkoittavan tarjottavia palveluita ja IP-puhelinliikenteen tarkoittavan taustalla toimivaa teknologiaa. IP-puhelinliikenteen mainitaan myös olevan yläkäsite, jolla tarkoitetaan kaikkea reaaliaikasta IP-verkon ylitse siirrettävää liikennettä. Esimerkiksi pikaviestejä ja videokonferenssejä. (Definition of : IP Telephony. N.D)

## 2.2 Session Initiation Protocol

### 2.2.1 Yleistä SIP:stä

Session Initiation Protocol (SIP) on sovelluskerroksen signaalintiprotokolla. SIP:in standardoinnista vastaa Internet Engineering Task Force (IETF). SIP:in perusmääritykset löytyvät standardista RFC 3261 (Request for Comments). Sen avulla muodostetaan, muutetaan, ylläpidetään ja päätetään istuntoja useamman osapuolen välillä. Lisäksi SIP:in avulla toimitetaan palvelimelle sijaintitietoja (IP-osoite). SIP:issä osapuolina voivat toimia mm. ihmiskäyttäjä, ohjelma tai toinen verkko. Liikennöinti voi tapahtua moniosoiteviesteillä (multicast) tai yksilöosoitteilla (unicast). SIP on tekstipohjainen protokolla. Sen protokolla sanomat muodustuvat englanninkielisestä selväkielisestä sanoista. SIP on asiakas-palvelin-mallinen protokolla. Asiakas lähettää pyynnön palvelimelle käyttäen TCP-, UDP- tai TLS-protokollaa. (Saarelainen. 2011a, 107-119)

Yhteyden muodustuksessa käytetään omaa SIP:in sisällä kulkevaa Session Description Protokollaa (SDP). SDP:n avulla neuvotellaan mm. käytettävät mediat ja formaatti, sekä osallistujien ja istunnon nimet. Median siirto tapahtuu Realm-time Transport Protocol – protokollalla (RTP). Yhteyden laadun tarkkailuun RTP käyttää Real Time Control Protocol – protokollaa (RTCP). (Mts.)

SIP:ssä on käytössä tarkastussummiin perustuva tapa autentikoida viestin lähettäjä. Tarkastussummalla ei voida varmistua tiedon eheydestä tai luottamuksellisuudesta. SIP:issä on myös mahdollista ottaa käyttöön sertifikaatteihin perustuva Secure Multipurpose Internet Mail Extensions (S/MIME) salaus. Tämä vaatii järjestelmän yhteyteen PKI-järjestelmän. (Rosenberg. ym. 2002. 26, 192-201)

### 2.2.2 SIP:n komponentit

SIP on asiakas-palvelin-mallinen protokolla. Järjestelmä koostuu käyttäagentteista ja verkkopalvelimista. Käyttäjäagentit (UA, User Agent) voivat toimia asiakkaana ja palvelimena. (Saarelainen. 2011a, 111)

Asiakasosaa nimitetään User Agent Clientiksi (UAC) ja palvelinosaa User Agent Serveriksi (UAS). Asiakasosa (UAC) lähettää palvelimelle SIP-pyyntön. Palvelin (UAS) vastaanottaa pyynnön ja lähettää vastauksen käyttäjän puolesta. (Mts.)

Verkkopalvelimien tehtävänä on puheluiden välitys. Ne voivat toimia proxy-palvelimena tai jälleenohjaavina palvelimina. Proxy-palvelimet välittävät pyyntöjä eteenpäin SIP-palvelimelle tai käyttäjäagenteille. Käyttäjäagenttien viestit voivat kulkea monen proxy-palvelimen kautta perille kohteeseensa. Proxy-palvelimet ottavat vastaan pyyntöjä ja vasteita. Näin ollen ne toimivat sekä asiakkaana että palvelimena. (Mts.)

Jälleenohjaavat palvelimet eivät ohjaa pyyntöjä eteenpäin, vaan ne lähettävät jälleenohjausvasteen. Jälleenohjausvaste kertoo asiakkaalle seuraavan palvelimen osoitteen. (Mts.)

Käyttäjäagentit rekisteröivät IP-osoitteensa registrar-palvelimelle. Käyttäjäagentit lähettävät REGISTER-pyyntön käynnistyksen yhteydessä, IP-osoitteen muuttuessa tai mahdollisesti säännöllisin väliajoin. Registrar-palvelimen osoite voidaan konfiguroida käyttäjäagenteille tai rekisteröitymisviestit voidaan lähettää tarkoitukseen varattuun multicast-osoitteeseen (224.0.1.75). (Mts.)

Proxy- tai jälleenohjavat palvelimet saavat tiedon osapuolten sijainnista paikkapalvelimelta (location server). (Mts.)

Nämä palvelintyytit eivät ole välttämättä erillisiä fyysisiä laitteita, vaan ne voivat olla saman palvelimen loogisia osia. Tyypillisesti ne on toteuttu samaan proxy-palvelimeen. (Mts.)

### **2.2.3 SIP-osoitteet**

SIP erittelee laitteiden käyttäjät uniikeilla SIP Universal Resource Identifier (SIP URI) tunnisteilla. Tunnisteet esitetään muodossa käyttäjä@domain.nimi. Käyttäjäosa voidaan luoda käyttäjätunnuksesta, puhelinnumerosta tai esim. ristimänimestä. Esimerkiksi sip:erkki.esimerkki@esimerkki.fi. Jos SIP URI:ssa esiintyy domainin nimi, joudutaan sen IP-osoite selvittämään DNS-palvelimelta (Domain Name System). SIP-palvelimen URI

voidaan myös ilmoittaa IP-osoitteena. Tällöin nimikyselyä ei tarvitse tehdä ja palvelimeen voidaan ottaa yhteyttä suoraan. (Mts.)

## 2.2.4 SIP-sanomat

SIP perustuu HTTP- ja SMTP- protokolliin. Näiden tavoin se on tekstipohjainen protokolla. SIP on asiakas-palvelin-mallin mukainen protokolla, mutta yleensä laitteissa on sekä palvelin-, että asiakasosat. (Saarelainen. 2011a, 116.)

Kaikki SIP:in sanomat ovat joko pyyntöjä asiakkaalta palvelimelle tai vastauksia palvelimelta asiakkaalle. Viestit koostuvat aloitus osasta (start-line), sitä seuraavasta otsikkokentästä (yksi tai useampi otsikko), tyhjästä osasta (ilmaisee otsikko kentän loppua), sekä valinnaisesta viestikentästä. (Rosenberg. ym. 2002. 26.)

SIP:ssä on pyritty pitämään otsikointi yksinkertaisena. Tällöin viestejä on helpompi jäsentellä. Yleisimpiä sanomia on käyty läpi alla olevassa taulukossa. (Saarelainen. 2011a, 116.)

**Taulukko 1 Yleisimpiä SIP-sanomia (Saarelainen. 2011a.)**

<b>INVITE</b>	Yhteyden aloittamiseen käytettävä pyyntösanoma.
<b>ACK</b>	Onnistuneen vasteen vastineeksi lähetetty sanoma.
<b>BYE</b>	Yhteyden lopettamiseen käytetty sanoma.
<b>CANCEL</b>	Pyynnön perumiseen käytetty sanoma.
<b>REGISTER</b>	Rekisteröinti sanoma, jolla SIP-asiakas rekisteröityy REGISTRAR-palvelimelle.
<b>OPTIONS</b>	Sanoma, jolla voidaan selvittää SIP-palvelimen tarjoamia ominaisuuksia.

SIP-protokolla on tehty lukuisia lisäyksiä (EXTENSIONS). Näiden ansiosta protokolla on hyvin joustava. Tämän myötä protokollan koko on kuitenkin kasvanut huomattavasti ja eri versioissa esiintyy yhteensopivuus ongelmia. Taulukossa 2 on esitetty eräitä keskeisimpiä lisäyksiä. (Mts.)

**Taulukko 2 Yleisimpiä SIP-lisäyksiä (Mts.)**

<b>INFO</b>	Varsinaisen mediavirran ulkopuolisen tiedon siirtoa varten, esim. äänitaajuusvalintapuheitnen DMTF-koodit.
<b>SUBSCRIBE</b>	Sanoma, jolla pyydetään tietoa tulevista tapahtumista.
<b>NOTIFY</b>	Vastine SUBSCRIBE-pyyntöön. Ilmoitetetaan kysytyn tapahtuman tapahtuneen esim. takaisinsoittopalvelu.
<b>MESSAGE</b>	Pikaviestien (Instant message, IM) vaihtoon tarkoitettu sanoma.
<b>UPDATE</b>	Sanoma, jolla asiakas päivittää parametria tietojaan.
<b>PUBLISH</b>	Sanoma, jolla julkistetaan esim. läsnäolotieto.

SIP-protokollassa kyselyihin vastataan vasteella (response). Vasteet ovat kolminumeroisia lukuja. Ensimmäinen numero kertoo vasteen syyn ja loppuosa tarkentavat asiaa.

- **1xx**-alkuiset ovat informaatio-sanomia. Esimerkiksi **100 Trying**, **180 Ringing**.
- **2xx**-alkavat ovat onnistuneita vasteita. Esimerkiksi **200 OK**, **202 Accepted**.

- **3xx**-alkuiset ovat jälleenohjausvasteita. Esimerkiksi **301 Moved permanently**, **302 Moved temporarily**.
- **4xx**-alkuiset kertovat pyynnön epäonnistuneen. Esimerkkeinä **401 Unauthorized**, **403 Forbidden**.
- **5xx**-alkavat vasteet kertovat palvelimen epäonnistumisesta. Esimerkiksi **500 server internal error**, **503 Service unavailable**.
- **6xx**-alkavat vasteet tarkoittavat yleistä epäonnistumista. Esimerkiksi **600 Busy everywhere**, **603 Decline**.

(Saarelainen. 2011a.)

SIP-tukee mitä tahansa UNICODE-merkkiä (ISO 10646). Lisäksi SIP:in merkinanto voidaan salata TLS-protokollalla. Liikenteen salauksessa käytettävään algoritmiin ei määrittämissä oteta kantaa. (Mts.)

## 2.2.5 Esimerkkejä SIP:stä

Seuraavana on esimerkit SIP:n UA:n rekisteröitymisestä ja puhelun kulusta.

### Rekisteröityminen

Käyttäjäagentin käynnistyessä sen tulee rekisteröityä rekisteröintipalvelimelle. Agentille täytyy määrittää SIP-palvelimen IP-osoite manuaalisesti tai se voidaan jakaa automaattisesti DHCP:llä. Rekisteröinti suoritetaan myös silloin, kun agentti kertoo uudesta olinpaikastaan. Käyttäjäagentin tulee rekisteröityä niihin rekisteröintipalvelimiin, joissa sillä on identiteetti. Tavallisesti rekisteröintipalvelin on vain looginen olio proxy-palvelimessa.

(Saarelainen 2011a.)

Kuviossa 1 näkyy rekisteröinti-sanoma. Rekisteröintisanoma on kulkenut SIP-palvelimen kautta takaisin asiakaslaitteelle. Palvelin pitää yllä paikallista tietokantaa SIP-asiakkaista. SIP-osoitteet sidotaan tiettyyn IP-osoitteeseen. Yhdelle agentilla voi olla monta eri osoitetta, sillä tili on voitu rekisteröidä yhtä aikaa monelle eri laitteelle. Palvelin on löytänyt

tietokannastaan tiedon IP-osoitteesta tälle SIP-URI:lle ja on ohjannut pyynnön takaisin samaan IP-osoitteeseen. (Rosenberg. ym. 2002. 55.)

```

⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.44 (192.168.1.44), Dst: 192.168.1.3 (192.168.1.3)
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 5060 (5060), Dst Port: 5060 (5060)
⊞ Session Initiation Protocol (REGISTER)
  ⊞ Request-Line: REGISTER sip:192.168.1.44 SIP/2.0
    Method: REGISTER
    ⊞ Request-URI: sip:192.168.1.44
      [Resent Packet: False]
  ⊞ Message Header
    ⊞ Via: SIP/2.0/UDP 192.168.1.44:5060;branch=z9hg4bk.3fIBmUHIC;rport
    ⊞ From: <sip:1001@192.168.1.44>;tag=uGocj7TT2
      ⊞ SIP from address: sip:1001@192.168.1.44
        SIP from tag: uGocj7TT2
    ⊞ To: sip:1001@192.168.1.44
      ⊞ SIP to address: sip:1001@192.168.1.44

```

### Kuvio 1. SIP-rekisteröinti

(Rosenberg, YM.. 2002)

Kuviossa 2 näkyy, että palvelin on salannut salasanan. Salasanan tilalle on generoitu kertäkäyttöinen teksti. Salasana tarkistetaan tarkistussumman avulla. Käyttäjätunnus, 1001, on salaamaton.

```

Authorization: Digest realm="asterisk", nonce="09dd1f3b", username="1001"
Authentication Scheme: Digest
Realm: "asterisk"
Nonce value: "09dd1f3b"
Username: "1001"
Authentication URI: "sip:192.168.1.44"
Digest Authentication Response: "04618f6aa2009602ddfb2adbc3c7e4f"

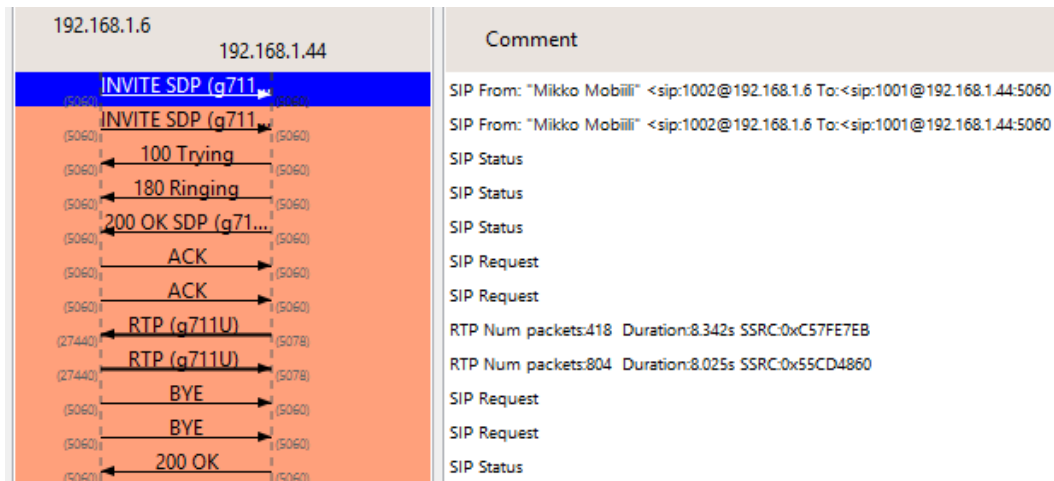
```

### Kuvio 2. Rekisteröinnin salaus

#### Puhelu

Kuviossa 3 on esitetty SIP-puhelun kulku. Aluksi yhteys avataan INVITE-sanomalla. INVITE-sanoma kertoo puhelun soittajan sip:1002@192.168.1.6 ja vastaanottajan sip:1001@192.168.1.44. Puhelun yritystä ilmaisee vaste 100 ja puhelun hälytystä vaste 180. SDP-sanomalla neuvotellaan median siirron parametrit. Vastapuoli hyväksyy ne ACK-sanomalla. Tämän jälkeen alkaa varsinainen puhelu median siirroilla RTP-pakettin avulla. Esimerkissä puheen pakkauksessa käytetään PCM  $\mu$ -law protokollaa. Puhelu lopetetaan BYE-sanomilla.





**Kuvio 3. SIP-puhelu**

## 2.3 Session Description Protocol

Session Description Protocol- protokolla (SDP) kulkee SIP-protokollan sisällä. SDP:tä käytetään neuvottelemaan istunnon parametrejä. Istuntoihin liittyvää mediaa varten joudutaan neuvottelemaan mm. osoitteet, portit sekä formaatit. SDP koostuu joukosta määrittäjiä. Määrittäykset ovat muodossa <tyyppi> = <arvo>. Kuviossa 4 on esimerkkinä käytetty läpi eräs SIP-puhelun aloitus. (Saarelainen, K. IP-puhe. 2011, 120.)

Kuviosta 4 nähdään SIP-puhelun osapuolet. Heti SIP-sanoman otsikosta havaitaan, että kyseessä on puhelun aloittava INVITE-sanoma. Request-line-kenttä kertoo puhelun vastaanottajan SIP-osoitteen 1001@192.168.1.44. VIA-kenttä kertoo SIP-palvelimen IP-osoitteen 192.168.1.3 ja käytettävän portin 5060. Max-Forwards-kenttä kertoo kuinka monta hyppyä sanoma voi kulkea. Jokainen proxy-palvelin, jonka lävitse sanoma kulkee vähentää kentän arvoa yhdellä. From-kenttä kertoo puhelun aloittaneen UA:n SIP-osoitteen 1002@192.168.1.3.

```

Session Initiation Protocol (INVITE)
+ Request-Line: INVITE sip:1001@192.168.1.44 SIP/2.0
+ Message Header
  + Via: SIP/2.0/UDP 192.168.1.3:5060;branch=z9hG4bK364e384c
    Max-Forwards: 70
  + From: "Mikko Mobiili" <sip:1002@192.168.1.3>;tag=as6940722c
  + To: <sip:1001@192.168.1.44>

```

**Kuvio 4. SIP Invite osapuolet**

Session Description Protocol – kenttä kertoo käytettävät parametrin median siirrossa (Kuvio 5).

```

Session Description Protocol
  Session Description Protocol Version (v): 0
  Owner/Creator, Session Id (o): root 381003431 381003431 IN IP4 192.168.1.3
  Session Name (s): Asterisk PBX 11.7.0
  Connection Information (c): IN IP4 192.168.1.3
  Time Description, active time (t): 0 0
  Media Description, name and address (m): audio 24100 RTP/AVP 0 8 3 101
  Media Attribute (a): rtpmap:0 PCMU/8000
  Media Attribute (a): rtpmap:8 PCMA/8000
  Media Attribute (a): rtpmap:3 GSM/8000
  Media Attribute (a): rtpmap:101 telephone-event/8000
  Media Attribute (a): fmp:101 0-16
  Media Attribute (a):ptime:20
  Media Attribute (a): sendrecv

```

### Kuvio 5. SDP-kenttä

V-kenttä kertoo käytettävän versionumeron, joka tässä tapauksessa on 0. Seuraava kenttä kertoo istunnon luoja ja tämän istunnon tunnuksen (381003431 IN IP4 192.168.1.3). S-kenttä kertoo istunnon nimen (Asterisk PBX 11.7.0), joka on tässä tapauksessa käytettävän Asteriskin versionumero. C-kenttä kertoo lähettäjän IP-osoitteen (192.168.1.3). T-kenttä kertoo istunnon alkuajan ja keston. T-kenttää ei käytetä SIP-yhteyksissä, jolloin arvo on 0. M-kenttä kertoo siirrettävän median tiedot. Tässä tapauksessa ääni (audio) käyttäen porttia 24100. RTP-profiilit ovat 0, 8, 3 ja 101. Seuraavat rtpmap-kentät ovat erilaisia profiileja, joita käytetään äänenkoodauksessa. Profiili 0 on pulssikoodimodulaation (PCM)  $\mu$ -law variantti, jonka näytteenottotaajuus on 8000 näytettä sekunnissa. Profiili 8 on pulssikoodimodulaation a-law variaatio, josta otetaan myös 8000 näytettä sekunnissa. Profiili 3 on GSM-puheenpakkaus, myöskin 8000 näytteellä sekunnissa. Profiili 101 on telephone-event-puheenpakkaus, myöskin 8000 näytteellä sekunnissa. Fmtp-kenttä kertoo profiiliin 101:n kytkennästä äänitaajusvalintamerkeihin 0-15. (Mts.)

Ptime-kenttä kertoo median paketeissa käytettävän ajan millisekunneissa. Tässä tapauksessa 20ms. Viimeinen kenttä kertoo, että laitteet tulisi käynnistää lähetys/vastaanotto-moodissa. (Handley. ym. 2006)

## 2.4 Skinny Call Control Protocol

### 2.4.1 Yleistä

Skiny Call Control Protocol – protokolla (SCCP) on Cisco Systemsin kehittämä signaalointiprotokolla. Sitä käytetään Ciscon Unified Communications Manager (CUCM) ja sitä edeltäneissä Cisco CallManager (CM) ympäristöissä. Merkinanto siirretään TCP:n päällä ja media RTP:n päällä. SCCP käyttää oletuksena porttia 2000. Myös muilla laitevalmistajilla on SCCP-protokollaa tukevia järjestelmiä. (Saarelainen. 2011a,165.)

Vaikka puhelut siirretään käyttäen RTP-protokollaa ei niiden laadun valvontaan käytetä RTP:n käyttämää RTCP:tä, vaan laatua valvotaan SCCP:n omilla ConnectionStatisticsReq- viesteillä. Vastauksena lähetetyt ConnectionStaticRes- viestit sisältävät mm. tietoa lähetettyjen pakettien määrästä, viiveestä ja pakettihävikistä. (Hartpence. 2013.)

SIP:n tavoin SCCP-viestit ovat kuvaavasti nimettyä. Yleisimpiä SCCP:n viestejä on koottu taulukkoon 3.

**Taulukko 3. Yleisimpiä SCCP-viestejä (Hartpence 2013, 191-223)**

RegisterMessage	Rekisteröitymisviesti. Sisältää puhelimen IP-osoitteen ja nimen. Nimi sisältää MAC-osoitteen. Palvelimen vastine viestiin on RegisterACKMessage.
KeyPadButtonMessage	Viesti joka sisältää tiedon painetusta näppäimestä. Puhelinnumeroa syötettäessä jokainen numeronpainallus lähetetään omana viestinään.
CallStateMessage	Puhelunvastaanottajalle lähetettävä viesti saapuvasta puhelusta.
OpenReceiveChannel	Viesti jolla luodaan looginen yhteys puheluun osallistujien välille
StartMediaTransmission	Viesti jolla määritellään puhelussa käytettävät parametrit ja aloitetaan puhelu.

#### **Esimerkkejä SCCP-protokollasta**

Seuraavana on esimerkkejä SCCP:n rekisteröitymisestä ja puhelun avauksesta.

#### **SCCP rekisteröitymisviesti**

SCCP:n rekisteröitymisviesti on hyvin yksinkertainen ( ks. kuvio 6). Data length-kenttä kertoo paketin sisältämän datan määrän tavuina ilman otsikkoa. Header version-kenttä kertoo SCCP:n otsikon tyyppin. Tässä tapauksessa Basic (oletusarvo). Message ID on 6 tavun mittainen kenttä, joka kertoo heksadesimaaleina viestin tyyppin. Tässä tapauksessa RegisterMessage. Device name – kenttä kertoo laitteen nimen. Laitteen nimi sisältää myös laitteen MAC-osoitteen 0007.0EA2.632C. Myöskin laitteen IP-osoite (IP address)

192.168.49.109 ja laitteen tyyppi selviävät viestistä (Device Type) Cisco 7960 – IP-puhelin.

```

Skinny Client Control Protocol
  Data length: 44
  Header version: Basic (0x00000000)
  Message ID: RegisterMessage (0x00000001)
  Device name: SEP00070EA2632C
  Station user ID: 0
  Station instance: 1
  IP address: 192.168.49.109 (192.168.49.109)
  Device type: Cisco 7960 (7)
  Max streams: 0

```

### Kuvio 6. SCCP-rekisteröitymisviesti

#### SCCP puhelunavaus

StartMediaTransmission-paketista ilmenevät puhelussa käytettävät parametrit (ks. kuvio 7). Puhelun vastaanottavan osapuolen IP-osoite on 192.168.49.109 ja portti 16384. Käytettävä puheen koodaus on PCM  $\mu$ -law. Paketti on merkattu precedence arvolla 11, joka on Ciscon järjestelmissä varattu puheen signaloinnille (DSCP and Precedence Values. n.d.)

```

Skinny Client Control Protocol
  Data length: 44
  Header version: Basic (0x00000000)
  Message ID: StartMediaTransmission (0x0000008a)
  Conference ID: 0
  Pass-thru party ID: 33
  Remote IP address: 192.168.49.109 (192.168.49.109)
  Remote port: 16384
  MS/packet: 20
  Payload capability: G.711 u-law 64k (4)
  Precedence: 11
  Silence suppression: Media_SilenceSuppression_off (0x00000000)
  Max frames per packet: 0
  G723 bitrate: None (0)

```

### Kuvio 7. SCCP StartMediaTransmission-paketti

## 2.5 Real-time Transport Protocol

Real-time Transport Protocol – protokolla on kehitetty multimediakonferensseja varten. Sitä kuitenkin hyödynnetään mm. interaktiivisen median jakelussa, hajautetussa simuloinnissa ja äänipuheluiden siirroissa. Koodattua ääntä siirretään normaalisti noin 20-30 ms mittaisissa paketeissa RTP:llä. RTP-protokollalla siirretään reaaliaikaista dataa. Yhteyden laadun valvontaan käytetään Real Time Control Protocol – ohjausprotokollaa (RTCP). Valvontaliikenne on rajattu enimmillään 5% koko kaistanleveydestä. RTP on istuntokerroksen protokolla. Se siis tarvitsee erilliset kuljetus- ja verkkokerroksen protokollat. RTP kertoo liikenteen tyyppin, numeroi liikenteen järjestesnumerolla ja leimaa paketit aikaleimalla. Järjesteysnumerojen ansiosta RTP-pystyy järjestämään paketit oikeaan järjestykseen, vaikka ne saapuisivat kohteeseen eri järjestyksessä. Aikaleimojen avulla voidaan järjestää kaksi erillistä mediavirtaa esim. videokuva ja siihen liittyvä ääni yhteiseksi kokonaisuudeksi. (Saarelainen. IP-puhe. 2011. 205-208.)

RTP-paketti sisältää seuraavat kentät (Kuvio 8). Version numero kertoo käytettävän version (versio 2). Padding-kentällä ilmaistaan sisältääkö paketti täytetäviä. Tässä tapauksessa ei, sillä arvona on 0. Seuraava kenttä, Extensions, kertoo seuraako otsikkoa lisäotsikko, joka sisältää profiiliin liittyvää tietoa. Tässä tapauksessa ei, sillä sen arvo on myöskin 0. CSRC Count – kenttä kertoo CSRC-tunnisteiden määrän. Esimerkissä 0. Marker-kenttää käytetään IP-puheessa ilmoittamaan ”hiljaisuutta” kuljettavat paketit. Seuraava kenttä Payload type kertoo siirretävän median tyyppin. Tässä tapauksessa PCM  $\mu$ -law. Sequence number on järjestysnumero. Numero on satunnaisesti generoitu ja tässä tapauksessa 0. Järjestysnumero kasvaa yhdellä seuraavassa paketissa. Timestamp-kenttä kertoo, milloin näyte on otettu. Synchronization source identifier – kenttää (SSRC) käytetään erottelemaan lähettäjä. Synchronization Source identifier-kenttä kertoo mahdollisista muista tahdistuslähteistä. Viimeisenä on varsinainen siirretävä media payload-kentässä.

### Real-Time Transport Protocol

```

+ [Stream setup by SDP (frame 18)]
  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: 0
  [Extended sequence number: 65536]
  Timestamp: 240
  Synchronization source identifier: 0x0000059a (1434)
  Payload: ffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffff...

```

#### Kuvio 8. RTP-paketti

## 2.6 Real Time Control Protocol

Real Time Control Protocol – protokollan (RTCP) tehtävänä on istunnon osallistujatietojen kuljetus ja luodun yhteyden laadun valvonta. RTCP-viestejä lähetetään vakioitahtiin RTP-istunnon aikana. Viesteillä tarjotaan tietoa siirron laadusta ja mahdollisista siirto-ongelmista. Raportoitavia asioita ovat mm. lähetettyjen pakettien määrä ja jitter. RTCP-myös pitää kirjata istuntoon osallistuvista kuljettemalla paketeissa lähteen canonical name – nimeä. RTCP huolehtii myöskin, että kontrolliliikenne ei ylitä sallittua 5% määrää kaistanleveydestä. Lisäksi RTCP:llä voidaan kertoa muita istuntoon liittyviä tietoja, esim. osallistujien nimet. RTCP:n tärkein tehtävä IP-puheyhteyksissä on yhteyden laadun valvonta. (Saarelainen. IP-puhe. 2011. 208-209)

RTCP-protokollalla on erilaisia paketteja käytettävänä eri tarkoituksiin. Muutamia näistä on käyty läpi oheissa taulukossa.

#### Taulukko 4. Yleisempiä RTCP-paketteja

<b>Sender report</b>	Paketti jota käytetään tilatiedon lähettämiseen ja vastaanottamiseen aktiivisilta osallistujilta.
<b>Receiver report</b>	Paketti, jota käytetään tilatiedon lähettämiseen ja vastaanottamiseen ei-aktiivisilta osallistujilta.
<b>Source description items</b>	Paketti jolla tunnustetaan lähettäjä (canonical name)
<b>BYE</b>	Paketti jolla ilmoitetaan istunnon lopettamisesta.
<b>APP</b>	Paketti jolla voidaan ilmoittaa sovelluskohtaisia toimintoja.

Kuviossa 9 on esimerkki RTCP:n source description item – paketista. Paketti kertoo osapuolen canonical name – nimen sip:toto@192.168.1.44:5060 ja käytettävän ohjelmiston Linphone-ohjelmistopuhelin versio 3.7.0.



```

[Real-time Transport Control Protocol (Source description)]
  [Stream setup by SDP (frame 18)]
    [Setup frame: 18]
      [Setup Method: SDP]
      10.. .... = Version: RFC 1889 version (2)
      ..0. .... = Padding: False
      ...0 0001 = Source count: 1
      Packet type: Source description (202)
      Length: 13 (56 bytes)
    [Chunk 1, SSRC/CSRC 0x59A]
      Identifier: 0x0000059a (1434)
      [SDS items]
        Type: CNAME (user and domain) (1)
        Length: 26
        Text: sip:toto@192.168.1.44:5060
        Type: TOOL (name/version of source app) (6)
        Length: 14
        Text: Linphone-3.7.0
        Type: END (0)
      [RTCP frame length check: OK - 108 bytes]

```

### Kuvio 9. Source description items – paketti

## 2.7 Inter-Asterisk eXchange

Inter-Asterisk eXchange (IAX) protokolla on kehitetty yhdistämään multimedia istuntoja. Protokollan kehityksestä on vastannut Asteriskin PBX:n avoimen lähdekoodin yhteisö. Protokolla on käytössä täten Asterisk-puhejärjestelmässä. Protokolla yhdistää median siirron ja hallintaprotokollan samaksi protokollaksi. Protokollan avulla pystytään siirtämään erilaisia multimedia sanomia. Protokollassa on erityisesti painotettu kevyeen otsikointiin, jotta kontrollidata veisi vähemmän kaistaa. IAX multipleksaa signaaloinnin ja median samaan verkkoyhteyteen. (Spencer, M. Capouch, B. Guy, E. Miller, F. Shumard, K. 2010. 1-4)

IAX:in Universal Resource Identifier nimet ovat muotoa

iax:[käyttäjänimi]@domain[:portti]. Domain-nimenä voidaan käyttää myös IP-osoitetta. (Mts. 7.) IAX:ssissa on käytössä vapaavalintainen osapuolten rekisteröinti. Rekisteröinti voidaan salata käyttäen tarkastussummia tai PKI-avainparia. (Mts. 11)

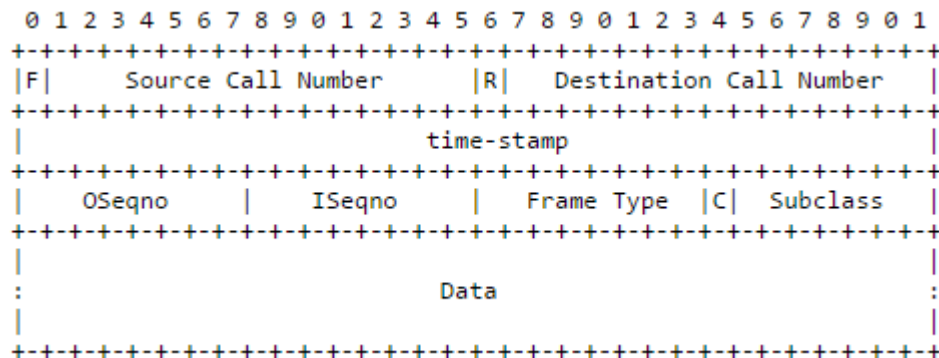
### 2.7.1 Kehykset

IAX:n käyttämän kehykset voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan. Kokonaiset kehykset (Full Frame), joiden avulla lähetetään signaali ja media dataa. Sekä mini kehykset (Mini Frame), joiden avulla lähetetään ainoastaan media dataa. Kokonaiset kehykset lähetetään luotettavasti, joten niiden saapuminen tulee hyväksyä ACK-viestillä. Mini ke-

hykset sisältävät mediaa, joten niiden saapumista ei tarvitse erikseen kuitata. Puheen siirrossa muutaman kehyksen hukkaaminen ei aiheuta suurta häiriötä, joten kuittausviestien väliinjättö vähentää kaistantarvetta. (Mts. 41-43)

### 2.7.1.1 Kokonainen kehys

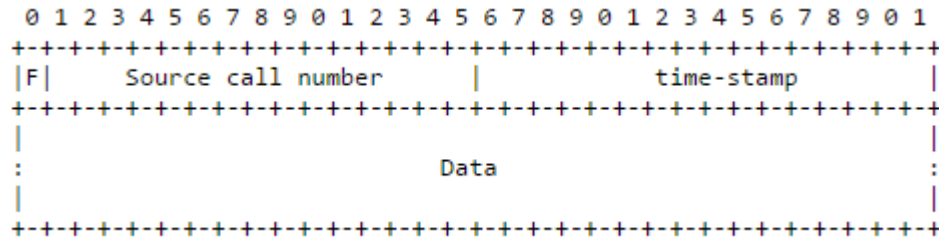
Kuvio 10 esittää full frame – kehystä. Ensimmäinen kenttä F, bitti kertoo onko kehys full frame (1) vai joku muu. Seurava kenttä kertoo lähettävän osapuolen puhelulle käyttämän source call number numeron. R-bitti kertoo onko kehys lähetetty uudelleen (1). Destination call number – kertoo vastapuolen puhelun erittelevän destination call number – numeron. Time-stamp kenttä kertoo millisekunneissa ilmoitettavan ajan ensimmäisestä lähetetystä viestistä. OSeqno ilmoittaa ulospäin lähtevien sekvenssien järjestysnumeron ja ISeqno taas sisäisten sekvenssien järjestysnumeron. Frame type – kenttä erittelee tarkemmin lähetetyn kehyksen muodon. C-kenttä kertoo ovatko seuraavat 7 bittiä koodattu. Lopuksi kehyksessä on data. (Mts. 41-43.)



**Kuvio 10. IAX kokonainen kehys**

### 2.7.1.2 Mini kehys

Mihikehyksen otsikko on hyvin pieni (4 oktettia). Se on esitetty kuviossa 11. Mini kehysten F-bitin arvon tulee olla 0, sillä ne eivät ole kokonaisia kehyksiä. Source call number – kenttä kertoo numeron, jolla lähettävä osapuoli erittelee numeron. Time-stamp – kenttä kertoo lähetetyn ajan, jonka avulla siirretty media voidaan prosessoida kronologisessa järjestyksessä. Lopuksi kehyksessä on data. (Mts. 43-45.)



**Kuvio 11. IAX mini kehys**

## 2.7.2 Puhelun aloittaminen

IAX-protokollassa uudet puhelut aloitetaan NEW Request – viestillä. Viesti sisältää paikallisen IAX-järjestelmän itselleen määrittämän source call identifier – tunnisteen, sekä aikaleiman. Aikaleima alkaa nolasta ja sen määrä nostetaan viestien mukaan. (Mts. 19.)

NEW Request – viestiin on neljä mahdollista vastausta.

- a) ACCEPT jolla ilmoitetaan uuden puheluhaaran hyväksymisestä.
- b) REJECT jolla hylätään uusi puheluhaara esim. autentikaation epäonnistumisen takia.
- c) AUTHREQ jolla vaaditaan toiselta osapuolelta autentikointia, ennen puhelun aloittamista.
- d) HANGUP jolla syntynyt neuvotteluyhteys katkaistaan. Tämän jälkeen joudutaan aloittamaan uusi puheyhteys.

## 2.7.3 Puhelunohjaus

IAX:n puheen signaointi viestit koostuvat seuraavista viesteistä: RINGING, ANSWER, BUSY ja PROCEEDING. Viestejä voidaan lähettää puhelun haaran hyväksynnän jälkeen. (Mts. 23.)

Tyypillisesti ensimmäisenä viestinä lähetetään RINGING-sanoma. Viesti ilmaisee vastaanottavan osapuolen prosessoineen puhelupyynnön ja aloittaneen hälytyksen saapuvasta puhelusta. PROCEEDING-viesti kertoo puhelun siirtyneen verkossa eteenpäin, mut-

ta se ei ole vielä saavuttanut vastaanottajaa. ANSWER-viesti kertoo puhelun saavut-  
neen vastaanottajan ja puhelun olevan käynnissä. BUSY-viestillä tai HANGUP-viestillä  
saapuva puhelu hylätään. (Mts. 23-25.)

Kesken puhelun puhelu voidaan hiljentää esim. HOLD-viestillä, jolloin ääni voidaan kor-  
vata esim. musiikilla. Vastaavasti puhelu jatkuu UNHOLD-viestillä (Mts. 25.)

Puhelun laaduun valvontaan käytetään mm. POKE-, PING- ja PONG-viestejä. POKE-  
viestillä voidaan testata yhteyttä vastaanottajaan. POKE-viesti voidaan lähettää ainoas-  
taan silloin, kun puhelu ei ole käynnissä. PING-viesti lähetetään oletuksena 20s välein, tai  
silloin kun tietty määrä sekunteja on kulunut viimeksi vastaanotetusta datasta. POKE- ja  
PING-viesteihin vastataan PONG-viestillä. (Mts. 32-33.)

## **2.8 Puheen pakkaus**

Siirrettäessä ääntä joudutaan se muuntamaan analogisesta digitaaliseen muotoon.

Muuntaessa analogista tietoa digitaaliseksi otamme signaalista näytteitä. Nyqvistin teo-  
rian mukaan näytteenottotaajuuden tulee olla kaksinkertainen tallennettavaan taajuu-  
teen nähden. (Grandlund. 2006. 26.)

### **2.8.1 G.711**

G.711 on ITU-T:n (International Telegraph Union Telecommunication Standardization  
Sector) suositus puheenkoodaukseen. Se on käytössä perinteisessä puhelinverkossa ja  
on myös hyvin yleinen VoIP-järjestelmissä. G.711 käyttää pulssikoodimodulaatiota. Käy-  
tössä on eurooppalainen a-law, sekä Yhdysvalloissa ja Kanadassa käytettävä  $\mu$ -law va-  
riantti. Puheen taajuus rajoittuu 4000 Hz:n, jolloin riittävä näytteenottotaajuus on 8000  
näytettä/sekunnissa. Tällöin tarvittava siirtonopeus näytteiden siirtoon on 8ktavua/s eli  
64kbit/s. (Mts. 83-86).

Pulssikoodimodulaatiosta johdettua ADPCM (Adaptive Differential Code Modulation) pak-  
kausta käytetään monissa eri ITU-T:n G.72x-sarjan protokollissa. (Mts. 88.)

## 2.9 Käytetyt puhejärjestelmät

Seuraavassa osiossa käydään lävitse laboratoriotöissä käytetyt puhejärjestelmät.

### 2.9.1 Asterisk

Asteriuskin kehittämisestä vastaa Digium Inc. Digum Inc on Asteriskin kehittäneen Mark Spencerin yritys. Yritys tarjoaa avoimen lähdekoodin Asterisk-puhejärjestelmän lisäksi omaa Switchvox-puhelinjärjestelmä ratkaisuaan. Yritys lisäksi valmistaa Asterisk yhteensopivia päätelaitteita ja ohjelmistoja. Asterisk on ohjelmisto, joka voidaan asentaa palvelimelle tarjoamaan IP-puhejärjestelmän palveluita. (About Digium. n.d.)

Asterisk toimii alustana, jonka päällä voidaan pyörittää IP PBX-järjestelmää, VoIP-yhdyskäytäviä, puhelinpalvelukeskusta, konferenssi siltaa, vastaajapalvelua ja muita reaaliaikaiseen kommunikaation liittyviä sovelluksia. (Daveport, Malcolm. 2012.)

Asterisk on avoimen lähdekoodin ohjelmistopohjainen puhelinvaihte (PBX, Private Branch Exchange). Sitä voidaan käyttää myös esim. VoIP-gateway – laitteena tai konferenssipalvelimena. Asterisk toimii monen eri protokollan runkona ja sen avulla voidaan toteuttaa erilaisia reaaliaikaisia äänen ja videon sovelletuksia. (Get Started. N. D.)

Asterisk-järjestelmä voidaan asentaa Linuxin, BSD:n, Window:sin tai OS X:n päälle. (Asterisk. 2014.)

Asterisk tukee PBX-ominaisuuksia, kuten esim. vastaajapalvelu, puheluiden jonotus, konferenssi puheluiden ylläpito, ja kuulutus. (Get Started. N. D.) Asterisk tukee SIP:in lisäksi muita signaalintiprotokollia, kuten esim. H.323, Google Talk, MGCP tai SCCP. Järjestelmä tukee useita puheen pakkaus protokollia. Kuten esim. G.711, G.722, G.726, Speex tai SILK. (Features. n.d.)

Käytetty Asterisk-versio työssä oli AsteriskNOW. AsteriskNOW koostuu Centos-palvelimesta, jonka päälle on valmiiksi asennettu Asterisk ja sen graafinen käyttöliittymä FreePBX.

## 2.9.2 Cisco CallManager

CallManagerin kehittäjänä toimii Cisco. Cisco on eräs maailman johtavia verkkolaitte valmistajia. Yritysten edge, core ja access – reittimien kokonaismäärästä 45% laitteista on Ciscon valmistamia. Lisäksi yritysten käyttämistä kytkimistä suurinosa on Ciscon valmistamia (64%). Cisco on myös maailman suurin VoIP valmistaja 39% markkinaosuudellaan. (Cisco Company Overview. 2014.)

Cisco CallManager on ohjelmistopohjainen IP-puhejärjestelmä. Ohjelmisto tukee G.711, G723.1, G.729 ja GSM äänikoodekkeja. Järjestelmällä on mahdollista luoda puhelun siirto parametrejä (hunt group). Hunt group siirtää puhelua laitteelta toiselle, kunnes puhelun vastataan. Se tukee lisäksi mm. puheluiden siirtoa, puheluiden siirtämistä pitoon ja konferenssipuheluita. Harjoituksissa käytettiin vanhaa Cisco CallManager versiota. Nykyään se on korvattu Cisco Unified Communications Manager (CUCCM) ohjelmistolla, joka tukee useampaa eri reaaliaikaisen median yhdistämistä. (Cisco CallManager Version 3.2. n.d.)

CallManager-järjestelmään pystytään yhdistämään IP-puhelimia, median käsittely laitteita, VoIP-yhdyskäytäviä ja multimedia ohjelmistoja. Lisäksi erilaiset multimedia konferenssit, pikaviestinnän ja interaktiivisen multimedian mahdollistavat järjestelmät voidaan liittää CallManageriin sen ohjelmointirajapinnan avulla. CallManager-puhejärjestelmä toimii Ciscon toimittamissa laitteissa, tai Windows-käyttöjärjestelmän päällä. Useammasta CallManager-palvelimesta voidaan muodostaa yhdistetty klusteri, jota voidaan keskitetysti hallita. (Mts.)

CallManager-puhejärjestelmästä on myös karsittu versio CallManager Express. CME-järjestelmä toimii sitä tukevissa Ciscon reitittimissä. CME-järjestelmät sisältävät IP-puhelinjärjestelmän, vastaajapalvelun, sekä automaattisen puhelunohjauksen (automated attendant). Näin pienissä tai keskisuurissa yrityksissä pystytään puhejärjestelmän palvelut tarjoamaan yhdellä laitteella, joka samalla pystyy hoitamaan yrityksen reitityksen. (Cisco Unified CallManager Express 4.0. n.d.)

### 2.9.3 3CX

3CX on ohjelmistopohjainen puhelinvaihte. Sen on kehittänyt saman niminen yritys. 3CX on harvoja Windowsin päällä toimiva puhelinjärjestelmiä. Puhelinvaihte tukee SIP-protokollaa. 3CX-järjestelmään voidaan liittää myös vastaajapalvelu, sekä yhteydet faksiin ja sähköpostiin. Järjestelmä tukee myös tilatiedon jakoa. 3CX on kehittänyt ohjelmistopuhelimet Windowsille, Macille, sekä Androidille ja iPhoneille. Järjestelmä tukee useita äänen pakkaus protokollia mm. G.711, G.722 ja G.729. (Break free from your outdated phone system. n.d.)

3CX:n lisenssien eroja on eritelty liitessä 1.

## 2.10 Käytetyt päätelaitteet

Harjoitusten toteuttamiseen käytettiin Ciscon, Linksysin ja Grandstreamin IP-puhelimia. Lisäksi käytössä olivat Ciscon ja Linksysin ATA-sovittimet.

### 2.10.1 Cisco SPA504G

Ciscon SPA504G – IP-puhelin sisältää neljä eri linjaa. Tämä mahdollistaa neljän tilin yhtä aikaisen käytön puhelimessa. Lisäksi puhelin tukee Power over Ethernet:iä (PoE). Puhelin tukee SIP- ja SCCP – signaalointiprotokollia. Puhelimessa on 60 viimeisintä puhelua tallentava puheluloki, sekä 100 numeron puhelinluettelo. SPA504G tukee puheliikenteen salausta. Puhelinta hallitaan Web-käyttöliittymän, sekä puhelimen LCD-näytön kautta. Äänen pakkaus protokollista tuettuina ovat G.711, G.726, G.729 ja G.722. Puhelimessa on sisäänrakennettuna kahden portin kytkin, jonka avulla puhelimen ja tietokoneen liittämiseen tietoverkkoon riittää yksi verkkoliitäntä. (Cisco SPA504G 4-Line IP Phone with 2-Port Switch, PoE and LCD. n.d.)

### 2.10.2 Linksys SPA942

Linksys SPA942 – IP-puhelin vasta lähes täysin Ciscon SPA504G:tä. Cisco osti Linksysin 2000-luvun alussa ja kehitti SPA942:sen pohjalta oman SPA504G:n puhelimensa. Puhelinten suurimpana erona on, että Linksys tukee äänen pakkaus protokollista G.711,

G.726, G.729 ja G.723 protokollia. Muuten puhelinten ominaisuudet ovat samanlaiset. (Cisco SPA942 4-Line IP Phone with 2-Port Switch. n.d.)

### **2.10.3 Cisco Unified IP Phone 7940G**

Ciscon 7940G – IP-puhelin tukee SIP-, MGCP- ja SCCP-signaalointiprotokollia. Puhelin tukee kahta eri linjaa eri tilejä varten. Puhelimen konfigurointi tapahtuu manuaalisesti käyttäen puhelimen LCD- näyttöä tai automaattisesti esimerkiksi DHCP-protokollan avulla. Puhelimessa on kaksi kytkinporttia PC:n liittämiseksi puhelimeen. Puhelimen ja tietokoneen liikenne voidaan erottaa toisistaan VLAN:ien avulla. Puhelin tukee äänikoodekeista G.711:sta ja G.729:ää. (Cisco Unified IP PHone 7940G. n.d.)

### **2.10.4 Cisco 7910G**

Cisco 7910G on yhden linjan IP-puhelin. Puhelin sisältää kaksi kytkin porttia. Näin puhelin ja tietokone voidaan liittää verkkoon vain yhdellä liitännällä. Puhelin tukee SCCP-signaalointiprotokollaa.

### **2.10.5 Cisco IP Conference Station 7935**

Cisco 7935 IP-puhelin on erityisesti suunnattu konferenssipuheluihin. Puhelin sisältää kolme mikforonia, joiden ansiosta puhelin voidaan sijoittaa pyöden keskelle. Lisäksi puhelimessa on panostettu erityisesti mikrofoniin äänenlaatuun. Puhelin tukee G.711 ja G.729 audio koodekkeja. Puhelimen konfigurointi tapahtuu Ciscon CUCM- tai CM-järjestelmien avulla. (Cisco Unified IP Conference Station 7935. n.d.)

### **2.10.6 Grandstream BudgeTone 100**

Grandstream Budge Tone 100 on SIP-signaalointiprotokollaa tukeva IP-puhelin. Puhelimen tuettuja äänikoodekkeja ovat G.711, G723, G.729 ja G.726. Puhelimen konfigurointi tapahtuu web-käyttöliittymän kautta. (User Manual BudgeTone-100 Series IP Phone. n.d.)



### **2.10.7 Cisco ATA 186**

Cisco ATA 186 on analoginen puhelinsovitin. Sovittimen avulla analogiset puhelimet voidaan liittää VoIP-verkkoon. ATA 186:seen voidaan liittää kaksi analogista puhelinta. Laitteessa on verkkoliitääntää varten 10BaseT ethernet-portti. Laitteen hallinta tapahtuu web-käyttöliittymän kautta. Sovitin tukee SIP- ja SCCP-signaalointiprotokollia. Äänikoodekeista tuettuna ovat G.729, G.723 ja G.711. (Cisco ATA 186 Analog Telephone Adapter. n.d.)

### **2.10.8 Linksys PAP2T**

Linksys PAP2T on ATA-sovitin, johon pystytään liittämään kaksi analogista puhelinta. Puhelin tukee SIP-signaalointiprotokollaa. Tuetut äänikoodekit ovat G.711, G.726, G.729 ja G.723. Sovittimen hallinta tapahtuu web-käyttöliittymän kautta. (Cisco PAP2T Internet Phone Adapter with 2 VoIP Ports. n.d.)

## **3 LABORATORIOHARJOITUKSET**

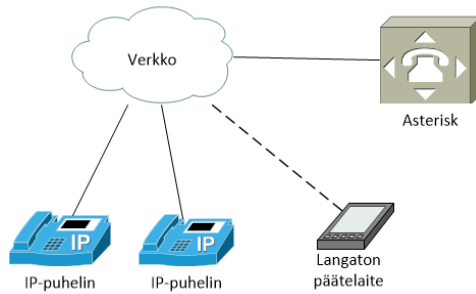
### **3.1 Harjoitukset**

Seuraavat viisi harjoitusta ovat kehitetty Jyväskylän ammattikorkeakoulun Reaaliaikaso-  
vellusten opintojakson laboratorioharjoituksiksi. Opinnäytetyössä on kehitetty jo valmi-  
ina olleita neljää harjoitusta: Asterisk- , 3CX- , Cisco CallManager – ja Cisco CallManager  
Express – harjoituksia. Lisäksi opinnäytetyössä luotiin uusi SIP-protokollaan tarkemmin  
keskittyvä harjoitus.

#### **3.1.1 Asterisk-harjoitus**

Asterisk-harjoituksen tavoitteena on opettaa opiskelijoille Asterisk-palvelimen asennus  
ja käyttöönotto. Harjoituksessa käydään lävitse tarvittavat konfiguraatiot päätelaitteiden  
lisäämistä varten. Lisäksi harjoituksessa tutustutaan Asteriskin-lisäominaisuuksiin.

Asterisk-harjoitus koostuu Asterisk-palvelimesta, kahdesta IP-puhelimesta ja langatto-  
masta päätelaitteesta (Kuvio 12). Harjoituksessa asennetaan Asterisk-palvelin ja tutus-  
taan järjestelmän käyttöönottoon. Järjestelmä asennetaan virtuaalisena Oraclen VM  
VirtualBox – ohjelmistoon. Asterisk-palvelimelle asennetaan myös graafinen käyttöjär-  
jestelmä FreePBX. Puhejärjestelmään lisätään kaksi kappaletta IP-puhelimia. Puhelimia  
varten järjestelmään konfiguroidaan tarvittavat käyttäjät. IP-puhelimien omista asetuk-  
sista asetetaan tarvittavat verkkoasetukset kuntoon. IP-puhelinten verkkokäyttöliitty-  
mistä määritetään Asterisk-palvelimelle luodut tilit sidotuiksi puhelimiin. Harjoituksessa  
on myös osana WLAN-tukiasema. Tukiasemalla tehdään tarvittavat määritykset, jotta  
verkkoon voidaan liittää langattomia päätelaitteita.



**Kuvio 12. Asterisk-harjoituksen looginen topologia**

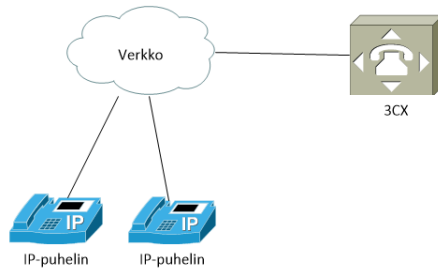
Järjestelmän käyttöönoton jälkeen tutustutaan jonotus-, sekä vastaaja-ominaisuuksiin. Harjoituksen lopussa on tarkentavia kysymyksiä harjoituksesta.

Harjoituksen tehtyään opiskelijat osaavat asentaa Asterisk-puhejärjestelmän. Lisäksi heillä on kokemusta päätelaitteiden lisäämisestä järjestelmään. Opiskelijoille on myös hahmottunut idea, että päätelaitteet eivät aina ole IP-puhelimia. He huomaavat Asteriskin asetusten päätelaitteille olevan samanlaiset, vaikka päätelaitteet eroaisivat toisistaan. Lisäksi opiskelijat osaavat käyttää muutamaa Asteriskin-lisäominaisuutta.

### 3.1.2 3CX-harjoitus

Harjoituksen tavoitteena on opettaa 3CX-järjestelmän peruskonfiguraatio.

3CX-harjoitus koostuu 3CX-palvelimesta ja kahdesta IP-puhelin päätelaitteesta (Kuvio 13). Harjoituksessa konfiguroidaan koulun verkossa sijaitsevaa 3CX-palvelinta. 3CX-palvelimelle luodaan harjoituksessa tarvittavat käyttäjät. Harjoituksessa käytettävät IP-puhelimet liitetään verkkoon. Puhelinten web-käyttöliittymien avulla puhelimet liitetään 3CX-palvelimeen. Harjoitukset lopuksi tutustutaan 3CX-järjestelmän vastaajapalveluominaisuuteen. Harjoituksen lopussa on tarkentavia kysymyksiä harjoituksesta.



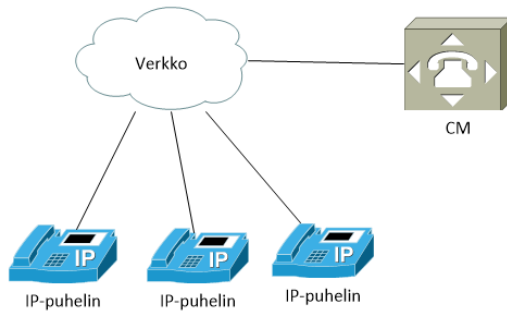
**Kuvio 13. 3CX-harjoitukset looginen topologia**

Harjoituksen jälkeen opiskelijoille on kertynyt kokemusta 3CX-puhejärjestelmän peruskonfiguraation toteutuksesta. Harjoituksessa opiskelijat oppivat hallitsemaan järjestelmään tehtäviä extension-käyttäjätilejä. Harjoituksen myötä tutuksi tulee 3CX:n tapa liittää puhelin järjestelmään. Kysymysten myötä opiskelijat oppivat myös lisää 3CX:n tarjoamista lisäominaisuuksista.

### 3.1.3 Cisco CallManager – harjoitus

Cisco CM-harjoituksen tavoitteena on opettaa opiskelijat käyttämään CM-puhejärjestelmää. Harjoituksessa opitaan lisäämään päätelaitteita puhejärjestelmään ja ottamaan käyttöön Call Park ja puhelun siirto ominaisuudet. Lisäksi tavoitteena on tutustua SCCP-protokollaan liikenneanalyysointia varten.

Cisco CallManager – harjoituksen topologia koostuu Ciscon CallManager – palvelimesta, sekä kolmesta päätelaitteesta (Kuvio 14). Harjoituksessa käytetään virtuaalikonetta Wmware Workstation – sovelluksella. Harjoituksessa tutustutaan CallManager – palvelimen peruskonfigurointiin. Harjoituksessa liitetään palvelimeen kolme IP-puhelinta. Aluksi puhelimet liitetään verkkoon ja tämän jälkeen ne lisätään CM-palvelimelle. Seuraavaksi testataan järjestelmän toimintaa. Harjoituksessa tutustutaan Call Park, sekä puhelun siirto ominaisuuksiin. Lopuksi harjoituksissa on tarkentavia kysymyksiä. Kysymysten yhteydessä analysoidaan puhejärjestelmän käyttämää SCCP-protokollaa Wireshark-liikenneanalyysointiohjelmalla.



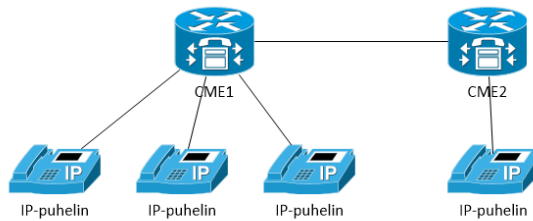
**Kuvio 14. Cisco CM – harjoituksen looginen topologia**

Harjoituksen tehtyään opiskelijat osaavat lisätä puhelimia CallManager-puhejärjestelmään. Lisäksi tutuksi ovat tulleet muutamat CM:n lisäominaisuudet. Kysymyksiin vastaamalla opiskelijat pääsevät tutustumaan tarkemmin SCCP-protokollaan. Harjoituksen myötä opiskelijat saavat kokemusta laitevalmistajan oman protokollan analysoinnista.

### 3.1.4 Cisco CallManager Express – harjoitus

Harjoituksen tavoitteena on tutustuttaa opiskelijat CallManager Express-puhelinjärjestelmän käyttöönottoon. Lisäksi opiskelijat tutustuvat muutamien lisäominaisuuksiin ja kahden puhelinjärjestelmän välisen trunk-linkin toimintaan.

Harjoitus koostuu kahdesta Cisco CallManager Express – ominaisuudella varustetusta Ciscon reitittimestä (Kuvio 15). Harjoituksessa määritetään reitittimille konfigurointi puhejärjestelmänä toimimista varten. Reitittimille määritetään tarvittavat asetukset neljää IP-puhelinta varten. Päätelaitteisiin tehdään tarvittavat määrittäykset, jotta ne voidaan liittää järjestelmään. Järjestelmän testauksen jälkeen muodostetaan reititinten välille trunk-linkki. Harjoituksessa lisäominaisuuksina on mukana kuulutus-, hunt-group puhelun yhdistämis- ja puhelun siirto toiminnot. Harjoituksen lopussa on tarkentavia kysymyksiä.



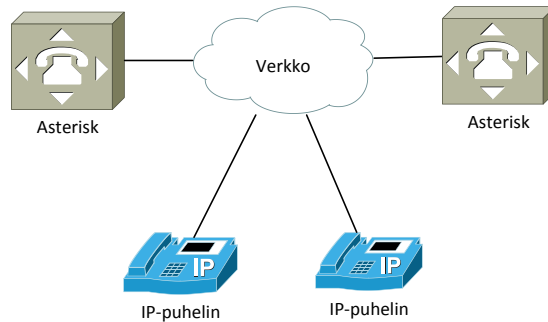
**Kuvio 15. Cisco CME – harjoituksen looginen topologia**

Harjoituksen tehtyään opiskelijoille on kertynyt kokemusta puhejärjestelmän fyysisestä liittämisestä päätelaitteisiin. Opiskelijoille on myös tullut tutuksi puhejärjestelmän konfigurointi käyttäen komentoriviä. Harjoituksessa tutustutaan myös ATA-sovittimen konfigurointiin. Näin opiskelijat saavat kuvaa analogisten puhelinten käytöstä IP-puhejärjestelmän päätelaitteena. Harjoituksen myötä kokemusta kertyy myös trunk-linkin konfiguroinnista.

### 3.1.5 SIP-harjoitus

Harjoituksen tavoitteena on luoda trunk-linkki kahden Asterisk-palvelimen välille ja tutustua liikenneanalysaattorilla SIP-signaalointiprotokollaan.

SIP-harjoitus koostuu kahdesta Asterisk-palvelimesta ja kahdesta päätelaitteena toimivasta IP-puhelimesta (Kuvio 16). Harjoituksessa käytetään kahta Oraclen VM Virtualbox – ohjelmalla ajettavaa Asterisk-virtuaaliapalvelinta. Virtuaalipalvelimet asennetaan omille työasemilleen. Harjoituksessa tarkistetaan, että etukäteen luodusta järjestelmästä löytyvät tarvittavat käyttäjät. Tämän jälkeen konfiguroidaan päätelaitteet harjoitusta varten. Harjoituksessa konfiguroidaan kahden Asterisk-palvelimen välille trunk-linkki. Tämän jälkeen tehtävänä on kaapata palvelinten välistä liikennettä ja analysoida sitä liikenneanalysaattorin avulla. Lopuksi vastataan liikenneanalysaattorilla selviäviin kysymyksiin.



**Kuvio 16. SIP-harjoitus topologia**

Harjoituksen tehtyä on opiskelijoilla on kokemusta trunk-linkin luomisesta kahden Asterisk-palvelimen välille. Kysymysten myötä opiskelijat tutustuvat tarkemmin SIP-protokollaan liikenneanalysaattorilla. SIP-protokollan lisäksi myös SDP-protokollaa tutkitaan liikenneanalysaattorin avulla.

### 3.1.6 Harjoitusten taustaa

Harjoitukset ovat tarkoitettu suoritettavaksi osana Jyväskylän ammattikorkeakoulun reaaliaikasovellukset-kurssia. Kurssilla opiskelijat tutustuvat mm.a keskeisiin reaaliaikasovelluksiin, erilaisiin signaalointiprotokollisiin, siirtoprotokollisiin ja muihin keskeisiin reaaliaikasovelluksiin liittyviin tekniikoihin (Opintojakson kuvaus. Reaaliaikasovellukset. 2012.) Kurssilla tavoitteena on myös opettaa opiskelijoille reaaliaikasovellusten ohjelmistojen, puhelin – ja viestintäjärjestelmien konfigurointia. (Mts.)

Kurssiin kuuluvat laboratorioharjoituksia on kehitetty useiden opinnäytetöiden yhteydessä. Ensimmäinen versio oli Marko Vertaisen ”VoIP-laitteiston käyttöönotto ja dokumentointi.” (Vertainen, M. 2002.) Seuraava iteraatio oli Timo Ritvasen ”IP-puhelinjärjestelmän Implementointi Spidernettiin” (Ritvanen. T. 2006.) Väänänen Juuso kehitti harjoituksia opinnäytetyössään VOIP-oppimisympäristö (Väänänen J. 2007.) Uusin versio harjoituksista syntyi Youssef Benamarin ja Markus Salmen opinnäytetyön ”VoIP-laboratioharjoitukset” yhteydessä (Benamar, Y & Salmi, M. 2011.)

Harjoituksissa pohjana on käytetty aikaisemmin käytössä olleita laboratorioharjoituksia. Nämä ovat syntyneet aikaisempien opinnäytetöiden aikana. Vanhat harjoitukset kartoitettiin testaamalla niitä ja selvittämällä olivatko kaikki harjoitusten osat toimivia. Harjoi-

tuksissa ongelmana oli, että käytössä olevalla laitteistolla ei järjestelmien kaikkia ominaisuuksia pystytty hyödyntämään. Varsinkin ohjeistuis vanhoissa harjoituksissa oli osin puuttellista ja se vaikeutti harjoitusten toteuttamista. Uusituissa versioissa pyrittiin etsimään ominaisuudet, jotka voitiin toteuttaa nykyisellä laitteistolla. Laitteisto asetti rajoituksia millaisia harjoitteita kyseiseenkin harjoitukseen voitiin lisätä. Laitteisto kartoitettiin ja tämän jälkeen jaettiin viiden eri harjoituksen tarpeisiin. Koulun käytössä olevat lisenssit myöskin rajoittivat harjoitusten toteuttamismahdollisuuksia. Lisenssit eivät tukeneet ohjelmien kaikkia ominaisuuksia. Harjoitusten ohjetta pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeiksi, sillä aikaisemmin ongelmia tuottivat mm. ohjeiden vaikeaselkoisuus. Harjoituksissa ideana on, että ohjeita tarkasti noudattamalla ryhmät kykenevät suoriutumaan harjoituksesta varatun ajan puitteissa.

Harjoitukset on myös tarkoitettu toteutettavaksi niille varattujen 4x 45 min oppituntien aikana. Tarkoituksena on, että keskiverto ryhmä kykenee suoriutumaan harjoituksesta 2h aikana. Harjoitukset muodostuvat viiden harjoituksen kokonaisuuden, jonka lisäksi voidaan toteuttaa projektimuotoisia harjoitteita. Harjoituksista ja niitä täydentävistä projektitöistä saadaan luotua taulukon 5 mukainen kahdeksan harjoituksen kierto. Harjoitukset voidaan luokitella kahteen eri ryhmään: SIP-protokollaa käyttävät SIP-, 3CX- ja Asterisk-harjoitukset, sekä SCCP-protokollaa hyödyntävät Ciscon CM- ja CME- harjoitukset. Näistä erikseen voidaan nostaa SIP-harjoitus, joka on korostaa erityisesti liikenneanalysointia. Näin kahdesta eri protokollasta ja SIP-harjoituksesta saadaan luotua sopiva kierto. Näin ryhmä esimerkiksi suorittaa yhden SCCP-harjoituksen (CM tai CME), sekä yhden SIP-harjoituksen (Asterisk tai 3CX). Tämän lisäksi ryhmälle tulee SIP-harjoitus, joka keskittyy enemmän liikenteenanalysointiin, sekä projektityö.

**Taulukko 5. Esitys harjoitusten toteuttamisesta**

Harj. 1	Harj. 2	Harj. 3	Harj. 4	Harj. 5	Harj.6	Harj. 7	Harj. 8
CM	Asterisk	SIP	Projekti	CME	3CX	SIP	Projekti



Harjoituksissa käytettiin sekä avoimen lähdekoodin, että suljettuun lähdekoodiin pohjautuvia ratkaisuja. Koulun olleen valmiin laitteiston takia harjoituksessa käytetään Cisco CallManager – ja CallManager Express – järjestelmiä. Avoimen lähdekoodin ratkaisuna käytettiin Digium, Inc:in Asterisk-puhejärjestelmää asennettuna Linuxin päälle. Windows-puolen ratkaisuna käytössä oli 3CX-puhejärjestelmä. Nämä kaksi ovat tunnettuja ja suosittuja puhejärjestelmiä ja ne mainitaan mm. Kari Saarelaisen IP-viestintäjärjestelmät kirjassa. (Saarelainen, K. 2011. 128-129.)

Opiskelijoille haluttiin antaa monipuolinen kuva erilaisista VoIP-ratkaisuista, joten harjoituksissa käytetään montaa eri järjestelmää. Mukaan otettiin sekä Linux, että Windows puolen ratkaisu. Näin opiskelijoille kertyy kokemusta erilaisista järjestelmistä. Harjoituksissa painotettiin SIP-protokollaa, sillä se on Internet-protokollia standardoivan IETF:n protokolla ja sitä tukevat käytännössä kaikki kaupalliset toimijat. (Saarelainen, K. IP-puheviestintäjärjestelmät. 2011. 22.) Cisco laitteet tukevat Cisco omaa SCCP-protokollaa. Tämän myötä opiskelijolle kertyy kokemusta myös laitevalmistajan omasta protokollasta. Harjoitukseen haluttiin mukaan myös liikenteenanalysointia, joten harjoitukseen otettiin mukaan liikenteen kaappausta ja analysointia. Käytännössä VoIP-järjestelmät eivät ole pelkästään yrityksen sisäiseen käyttöön suunnattuja, vaan niillä voidaan myös soittaa puheluita omasta verkosta ulospäin. Ulospäin suuntautuvia yhteysien konfigurointia harjoitellaan luomalla trunk-linkkejä.

Harjoitusten myötä haluttiin opiskelijoille antaa kokonaiskuvaa erilaisista VoIP-toteutuksista. Harjoitusten tekoa varten on 4x45 min aikaa. Tämän ajan puitteissa harjoitukset eivät voineet kasvaa kovin laajoiksi, sillä tällöin kaikki ryhmät eivät niitä kekeäisi suorittamaan. Harjoituksissa koitettiin luoda itsenäisesti toimiva kokonaisuus, jolloin yhdellä harjoituskerralla voidaan keskittyä yhteen kokonaisuuteen. Harjoitusten tarkoituksena on syventää kurssilla käytyjä asioita, sekä antaa opiskelijoille käytännön kokemusta laitteiden ja palvelinten konfiguroinnista.

Työhön alunperin suunniteltiin tietoturvan ja erilaisten koodekkien vertailua harjoitusten yhteydessä. Tietoturva ominaisuudet olisivat, kuitenkin vaatineet lisenssi ja laitehankintoja. Koodekkivertailuun ei myöskään koululla ollut suoraan sopivaa analysointia. Joten näitä ominaisuuksia ei voitu toteuttaa toteuttaa opinnäytetyön yhteydessä.

### **3.1.7 Muutokset vanhoihin versioihin**

Harjoitusten ohjeistuksessa oli kauttaaltaan puutteita. Ohjeissa oli useita kohtia ohjeistettu epämääräisesti. Kaikkiin harjoituksiin kirjoitettiin ohjeet uudestaan ja niissä yritettiin parantaa ohjeiden selkeyttä.

Asterisk-harjoituksessa käytettävä Asterisk-palvelin päivitettiin uudempaan versioon. Lisäksi harjoituksessa käytettävään tukiaseman ja päätelaitteina toimiviin matkapuhelimen konfiguraatioon tehtiin uusittu ohje. 3CX-harjoituksessa karsittiin ominaisuuksia, joita ei nykyisellä laitteistolla saatu toimimaan. Ciscon CallManager – harjoituksessa etsittiin ominaisuuksia, jotka toimivat nykyisellä laitteistolla. CallManager Express – harjoituksen idea oli käytössä olleessa ohjeistuksessa epäselvä. Harjoitusta varten tutkittiin käytettävän tilan kaapelointia ja tehtiin uusi harjoitus, jossa hyödynnetään kahta Ciscon reititintä.

## 3.2 Harjoitusten arviointi

Harjoitukset tutustuttavat opiskelijat erilaisten järjestelmien peruskonfigurointiin. Harjoitusten kautta he saavat kokemusta erilaisista suljetuista ja avoimista ympäristöistä. Harjoitusten myötä opiskelijoille tulevat myös tutuksi erilaiset VoIP-palvelimet ja näiden päätelaitteet.

### 3.2.1 Asterisk

Asterisk-harjoituksessa opiskelijat pääsevät asentamaan itse Asterisk-palvelimen virtuaalilikoneelle. Harjoituksen myötä tutustutaan palvelimen pystytykseen ja peruskonfiguraatioon, millä palvelin saadaan toimintakuntoon. Harjoituksessa on myös mukana langattomien päätelaitteiden konfiguraatiota. Tämä on ainoa harjoitus, jossa mukana on WLAN-tukiasemaan liitettyjä matkapuhelimia. Harjoituksessa on mukana myös Asteriskin jonotus- ja vastaaja-palvelun käyttöönotto ja testaus. Harjoitus keskittyy perustoimintoihin ja laitteistosta johtuen kaikkia lisäominaisuuksia harjoituksen yhteydessä ei voida testata. Harjoituksessa hyvänä puolena on koko järjestelmän käyttöönotto aivan alusta alkaen. Tätä ei muissa harjoituksissa ole mukana. Huonona puolena harjoitus keskittyy aivan olennaisiin asetuksiin ja kaikkiin Asteriskin ominaisuuksiin ei harjoituksen yhteydessä tutustuta.

### 3.2.2 3CX

Harjoituksessa konfiguroidaan valmiina olevaa 3CX-puhelinjärjestelmää. Harjoitus keskittyy aivan perustoimintojen käyttöönottoon ja lisäksi mukana on vastaajapalvelun konfigurointi. 3CX-palvelimeen voidaan liittää vain tiettyjä puhelinmalleja ja näiden lisääminen tapahtuu järjestelmälle ominaisella tavalla. Harjoituksen myötä opiskelijat oppivat 3CX:n järjestelmässä käytetyn tavan linkittää puhelin palvelimeen. Tämän myötä heille muodostuu kuva, että valmistajien tavoissa toteuttaa järjestelmiään on eroja. Harjoituksessa keskitytään vain perustoimintojen konfigurointiin. Lisäominaisuuden käyttöönotto vaatisi laitteisto ja lisenssi muutoksia. Harjoituksessa ei ole myöskään otettu mukaan SIP-protokollaan tarkempaa tutustumista, sillä siihen keskitytään toisessa harjoituk-

nessa. Näin ollen 3CX-harjoituksessa käydään lävitse vain perus järjestelmän käyttöönottoa ja siihen liittyvää konfigurointia. Näin ollen harjoitus ei ole kovin laaja.

### **3.2.3 Cisco CallManager**

CallManager-harjoituksessa konfiguroidaan Cisco CallManager-puhejärjestelmä toimintakuntoon ja liitetään siihen päätelaitteet. CallManager käyttää Ciscon omaa SCCP-protokollaa ja harjoituksen yhteydessä protokollaa analysoidaan Wireshark – protokollanalysointiosalla. Harjoituksessa lisäksi otetaan käyttöön Call Park – puheluiden säilytys ja puhelin siirto ominaisuudet. Harjoituksessa päästään tutustumaan tarkemmin laitevalmistajan omaan protokollaan analysointiosan avulla. Harjoituksessa käytettävä CallManager-versio on hyvin vanha ja sen myötä sitä tukevia laitteita ei ole montaa. Laitteisto käyttää Ciscon omaa SCCP-protokollaa. Harjoituksessa päästäänkin tutustumaan liikenneanalysointiosalla järjestelmätoimittajan omaan protokollaan. Näin opiskelijat saavat kokemusta suljetusta protokollasta.

### **3.2.4 Cisco CallManager Express**

CME-harjoituksessa konfiguroidaan kaksi kappaletta reitittimiä toimimaan puhelinjärjestelminä. Tämän jälkeen reitittimiin lisätään päätelaitteet. Harjoituksessa lisäominaisuuksina on mukana kuulutus-, hunt-group puhelin yhdistämis- ja puhelun siirto toiminnot. Harjoituksen lopuksi muodostettana trunk-linkki reitittimien välille. Hyvänä puolena harjoituksessa päästään konfiguroimaan ja kytkemään fyysisiä laitteita. Näin opiskelijat saavat kokemusta fyysisten laitteiden käytöstä pelkkien virtuaalikoneiden sijasta. Harjoituksen myötä kokemusta kertyy myös trunk-linkin toimintaanotosta.

### **3.2.5 SIP-harjoitus**

SIP-harjoitus keskittyy trunk-linkin muodostamiseen kahden Asterisk-palvelimen välille. Harjoitukseen lisätään päätelaitteet ja tämän jälkeen tutustaan tarkemmin SIP-protokollaan Wireshark – protokollanalysointiosalla. Harjoituksen myötä SIP-paketin rakenne tulee tutuksi ja Wireshark-protokollanalysointiosan käytöstä kertyy kokemus-

ta. Harjoituksesta opiskelijoille kertyy kokemusta kahden Asterisk-palvelimen välisen trunk-linkin käyttöönotosta.

### **3.2.6 Yhteenveto**

Useassa harjoituksessa on resursseista johtuen jouduttu keskittymään vain olennaisten toimintojen käyttöönottoon ja testaukseen. Toisaalta harjoitusten aikataulun puitteissa ei kovin laajoja harjoituksia yksittäisestä järjestelmästä voida pitää. Opiskelijoiden on tarkoitus suorittaa useita harjoituksia kurssin aikana, jolloin ryhmälle kertyy kokemusta erilaisista järjestelmistä ja protokollista. Harjoituksissa on haluttu painottaa SIP-protokollaa. Jakamalla harjoitukset sopivasti ja kierrättämällä ryhmiä viikottain eri harjoituksissa saavat ryhmät kokemusta niin SCCP-protokollaa, kuin SIP-protokollaa käyttävästä harjoituksesta. Harjoitusten jälkeen opiskelijoille on kertynyt kokemusta erilaisten järjestelmien konfiguroinnista ja käyttöönotosta. He ovat harjoitusten myötä päässeet kokemaan, niin virtuaalikoneiden, kuin varsinaisten fyysisten laitteiden asetusten määrittämistä. Lisäksi tutuksi tulevat erilaiset päätelaitteet IP-puhelimista, ATA-sovitinten avulla käytettäviin analogisiin puhelimeen ja matkapuhelimiin saakka. Harjoituksissa on myös otettu mukaan trunk-linkkien muodostusta. Harjoituksien yhteydessä ei ole muodostettu suurempia kokonaisuuksia, vaikka järjestelmien väliset linkit tämän mahdollistaisivat.

Harjoitusten soveltuvuus kurssille selviää täydellisesti, vasta kurssin toteutumisen yhteydessä. Opinnäytetyön yhteydessä ei ollut mahdollisuutta testata kaikki harjoituksia opiskelijoilla. Opiskelijoista muodostetuissa ryhmissä on eroja, jolloin harjoituksiin kuluva aika ei välttämättä ole vakio. Tämän takia ohjeet on pyritty kirjoittamaan huolellisesti, jolloin jokainen ryhmä ohjeita tarkasti seuraamalla tulisi olla kykenevä suorittamaan harjoitus siihen varatussa ajassa. Tämän myötä harjoitukset eivät ole kovin avoimia, vaan niissä noudetaan tarkasti ohjeita.

### 3.3 Parannukset

Harjoituksia voitaisiin parantaa lukuisilla eri tavoilla. Tulevilla kursseilla kerätty kokemus voidaan käyttää harjoitusten toimivuuden parantamiseen. Kaikkea mahdollista ei harjoitusten teossa ole voitu ottaa huomioon ja täten parannettavaa löytyy.

Cisco CallManager-ohjelmasta käytössä oli vanha versio. Uusimmassa Cisco Unified Communications Manager – ohjelmistossa on yhdistetty järjestelmään puheen lisäksi, myös muita kommunikaation välineitä (mm. videopuhelut.) Uudemmallalla lisenssillä voitaisiin harjoituksia laajentaa pelkkien puhelujen soiton ulkopuolelle. 3CX-puhelinjärjestelmän kaikkia ominaisuuksia varten tarvittaisiin uusi lisenssi, sekä pääte-laitteita, jotka tukevat näitä ominaisuuksia. Esimerkiksi 3CX-järjestelmällä olisi mahdollista käyttää sertifi kaatteja laitteiden varmennukseen. Näin ollen harjoituksiin saataisiin mukaan liikenteen salaus.

Harjoituksissa ei ole tällähetkellä ole tietoturva-aspektia lainkaan mukana. Tämän lisääminen tulevaisuudessa tekisi harjoituksista paremmin todellista käyttöä vastaavia. Harjoituksissa voitaisiin esimerkiksi tarkastella palvelinten tai laitteiden varmentamista sertifi kaattien avulla. Tai harjoituksissa voitaisiin salata siirtoyhteydet IP-puhelinten ja palvelimen väliltä. Puheenlaadun tarkkaileminen voisi olla myös eräs uusi tulevaisuuden harjoitus. Tämä vaatisi tosin tarkoitukseen sopivan analysoijan hankkimista. Myös eri koodekkien vertailu puheen laadun suhteen voisi olla sopiva harjoite. Harjoituksiin ei suurta muutosta toisi toteuttaminen IPv6-verkossa. Protokollat käyttävät omia viestejään, vaikka nämä siirtyisivät muussa, kuin IPv4-verkossa. IPv6:seen siirtyminen on kuitenkin tulossa ajankohtaiseksi ja on jossain vaiheessa joka tapauksessa harjoituksissa edessä. Myöskin palvelinten hallintaan liittyviä tilastoja ei harjoituksessa ole hyödynnetty. Puheluiden erittelemine n eri osastojen välillä olisi hyvä harjoitus, joka olisi myös työelämässä VoIP-puheluiden seurannassa käytettävä väline. Myös suurempi harjoitus, jossa yhdistettäisiin eri järjestelmiä voisi olla hyödyllinen harjoitus. Näin eri järjestelmät voisivat kuvata eri yrityksiä ja näiden välisten linkkien luonti olisi tarpeellinen, jotta yritysten välinen yhteydenpito olisi mahdollista.

Lisäksi harjoitus voitaisiin muodostaa vikasietoisuudesta. Palvelimelle voitaisiin järjestää jonkinlainen kahdennus ja testata palvelun toimivuutta vikatilanteen sattuessa. Eräs IPv4-version aikaansaamista ongelmista syntyy osoitteen muuntamisessa. VoIP-järjestelmät eivät välttämättä osaa siirtää pakettejaan NAT-muuntimen (Network Address Translation) lävitse. Harjoitus, jossa paketit kulkisivat NAT-muuntimen lävitse voisi antaa harjoitusta julkisessa verkossa ilmenevästä ongelmasta. Kuitenkaan IPv6:seen siirryttäessä tätäkään ongelmaa ei enää ilmene osoitteen muuntamisen tarpeettomuuden tähden.

Harjoituksiin voidaan lisätä myös projektiluontoisia tehtäviä erilaisista VoIP-ratkaisuista. Esimerkiksi eräs maailman suurimmista VoIP-ohjelmistoista Skype tarjoaa yrityksille keskitettyä hallintaa Skype-tileille. Skypen yrityksille tarjoamat ratkaisut ja Skypen käyttö yrityksen puhejärjestelmänä voisi olla projektin aiheena. Myöskin tietokoneiden verkkopelaamisessa yleiset palvelin/asiakas-malliset ratkaisut voisivat olla projektin aiheena. Tämänlaisia ohjelmistoja ovat ainakin TeamSpeak, Ventrilo, Raidcall ja Mumble. Näihin ohjelmiin ja niissä käytettiin protokolliin tutustuminen voisi sopiva aihe projektiksi.

## 4 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli reaaliaikasovellusten opintojakson laboratoriotöiden kehittäminen. Työssä kartoitettiin valmiina olleita harjoituksia ja koottiin käytössä olevasta laitteistosta ja lisensseistä kokonaisuuksia. Työ alkoi vanhojen harjoitusten testaamisella. Harjoituksista koottiin epäkohdat ja huomioitiin toimivat osuudet. Samalla kartoitettiin koululla käytössä oleva laitteisto harjoituksiin.

Vanhojen harjoitusten pohjalta luotiin neljä eri harjoitusta: Asterisk-, 3CX-, CallManager-, sekä CallManager Express – harjoitukset. Näiden lisäksi luotiin yksi uusi harjoitus, jossa keskitytään SIP-protokollan analysointiin. Työn lopputuloksena on aikaiseksi saatu kokonaisuus, joka voidaan toteuttaa reaaliaikasovellukset kurssin yhteydessä.

Opinnäytetyössä pyrittiin parantamaan kurssilla olleita harjoituksia. Ohjeita on selkeytetty, mutta harjoitusten testausta ei keretty suorittamaan kattavasti. Tulevilla kursseilla tehtävät harjoitukset antavat todellisen kuvan opinnäytetyön onnistumisesta. Opinnäytetyön tuloksena syntyneet harjoitukset ovat yhden henkilön kehittämiä ja täten niistä on voinut jäädä pois asioita, jotka olisivat ulkopuolisen testauksella helposti huomattu. Yhdestä harjoituksesta toteutettiin ulkopuolisen opiskelijan testaus, mutta kyseisellä testauskerralla harjoitus kariutui teknisiin ongelmiin. Harjoitusten ohjeet kirjoitettiin uusiksi ja niissä pyrittiin riittävään selvyyteen. Ohjeistuksen tarkoituksena on olla riittävän selkeitä, että sen avulla opiskelijaryhmät kykenevät suorittamaan kyseisen harjoituksen aikarajan puitteissa.

Laitteiston ja lisenssien rajoituksista johtuen aivan kaikki suunniteltuja ominaisuuksia ei harjoituksissa kyetty toteuttamaan. Opinnäytetyöhön on myös kerätty parannusehdotuksia laboratorioharjoitusten tulevaisuutta varten.



Työn lopputuloksena on luotu toimivat harjoitukset reaaliaikasovellusten kurssin toteutusta varten. Kurssin tavoitteisiin kuuluu opettaa opiskelijoita konfiguroimaan VoIP ohjelmistoja ja laitteita. Näiden harjoitusten jälkeen opiskelijoille on kertynyt kokemusta palvelinten perusasetusten tekemisestä, sekä päätelaitteiden konfiguroinnista. Opiskelijat myös saavat käytännön kokemusta protokollien tutkimisesta liikenneanalysointorilla.

## LÄHTEET

About Digium verkkosivu. N.d. Viitattu 1.12.2014. <http://www.digium.com/en/company>

Asterisk verkkosivu. 2014. Viitattu 24.11.2014. <http://www.voip-info.org/wiki/view/Asterisk>

Benamar, Y & Salmi, M. 2011. VoIP-laboratorioharjoitukset. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Break free from your outdated phone system verkkosivu. N.d. Viitattu 25.11.2014. [http://www.3cx.com/phone-system/3CXPhoneSystem\\_brochure.pdf](http://www.3cx.com/phone-system/3CXPhoneSystem_brochure.pdf)

Cisco ATA 186 Analog Telephone Adapter. N.d. Viitattu 29.11.2014. [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/unified-communications/ata-186-analog-telephone-adaptor/product\\_data\\_sheet09186a008007cd72.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/unified-communications/ata-186-analog-telephone-adaptor/product_data_sheet09186a008007cd72.html)

Cisco CallManager Version 3.2. N.d. Viitattu 24.11.2014. [http://www.cisco.com/en/US/products/sw/voicesw/ps556/products\\_data\\_sheet09186a008007d873.html](http://www.cisco.com/en/US/products/sw/voicesw/ps556/products_data_sheet09186a008007d873.html)

Cisco Company Overview verkkosivu. 23.8.2014. Viitattu 1.12.2014. <http://www.slideshare.net/Cisco/cisco-company-overview-fy14>

Cisco PAP2T Internet Phone Adapter with 2 VoIP Ports. N.d. Viitattu 29.11.2014. [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/unified-communications/small-business-voice-gateways-data/data\\_sheet\\_c78-502441.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/unified-communications/small-business-voice-gateways-data/data_sheet_c78-502441.html)

Cisco SPA504G 4-Line IP Phone with 2-Port Switch, PoE and LCD Display. N.d. Viitattu 29.11.2014. [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/small-business-spa500-series-ip-phones/data\\_sheet\\_c78-548564.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/small-business-spa500-series-ip-phones/data_sheet_c78-548564.html)

Cisco SPA942 4-Line IP Phone with 2-Port Switch. N.d. Viitattu 29.11.2014. [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/spa942-4-line-ip-phone-2-port-switch/data\\_sheet\\_c78-502079.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/spa942-4-line-ip-phone-2-port-switch/data_sheet_c78-502079.html)

Cisco Unified CallManager Express 4.0. N.d. Viitattu 1.12.2014. [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/unified-communications/unified-communications-manager-express/product\\_data\\_sheet0900aec8041c303.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/unified-communications/unified-communications-manager-express/product_data_sheet0900aec8041c303.html)

Cisco Unified IP Conference Station 7935. N.d. Viitattu 29.11.2014. <http://www.andovercg.com/datasheets/cisco-ip-conference-station-7935.pdf>

Cisco Unified IP Phone 7940G verkkosivu. N.d. Viitattu 29.11.2014. [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7940g/product\\_data\\_sheet09186a008008884a.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7940g/product_data_sheet09186a008008884a.html)

- Daveport, M. 2012. What is Asterisk. Viitattu 1.12.2014.  
<https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/Asterisk+as+a+Swiss+Army+Knife+of+Telephony>
- Definition of: IP Telephony verkkosivu. N.d. Viitattu 29.11.2014.  
<http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/45379/ip-telephony>
- DSCP and Precedence Values verkkosivu. N. d. Viitattu 24.11.2014.  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/datacenter/nexus1000/sw/4\\_0/qos/configuration/guide/nexus1000v\\_qos/qos\\_6dscp\\_val.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/datacenter/nexus1000/sw/4_0/qos/configuration/guide/nexus1000v_qos/qos_6dscp_val.pdf)
- Features verkkosivu. N.d. Viitattu. 24.11.2014. <http://www.asterisk.org/get-started/features>
- Get Started verkkosivu. N.d. Viitattu 24.11.2014. <http://www.asterisk.org/get-started>
- Granlund, K. 2006. Tietoliikenne. Jyväskylä: Docendo.
- Handley, M, Jacobson, V, Perkins, C. 2006. SDP: Session Description Protocol RFC 4566. Viitattu 24.11.2014. <https://tools.ietf.org/html/rfc4566>
- Hartpence, Bruce. 2013. Packet Guide to Voice over IP. O'Reilly Media Inc.
- IP Telephony verkkosivu. N.d. Viitattu 29.11.2014.  
[http://www.cisco.com/web/EA/solutions/en/ip\\_telephony/index.html](http://www.cisco.com/web/EA/solutions/en/ip_telephony/index.html)
- Nadeem, Unuth. N.d. What is The Diffecence Between VoIP and IP Telephony? Viitattu 29.11.2014. <http://voip.about.com/od/voipbasics/f/VoIPvsIPTel.htm>
- Opintojakson kuvaus. Reaaliaikasovellukset. 2012. Viitattu 11.11.2014.  
[https://asio.jamk.fi/pls/asio/asio\\_ectskuv1.kurssin\\_ks?ktun=IIT35100&knro=&noclose=%20&lan=f](https://asio.jamk.fi/pls/asio/asio_ectskuv1.kurssin_ks?ktun=IIT35100&knro=&noclose=%20&lan=f)
- Ritvanen, Timo. 2006. IP-puhelinjärjestelmän implementointi Spidernettiin. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.11.2014.
- Rosenberg, J., Schulzrinne, H, Camarillo, G, Johnston, A, Peterson, J, Sparks, R, Handley, M, Schooler, E. 2002. SIP: Session Initiation Protocol RFC 3261. Viitattu 24.11.2014.  
<https://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>
- Saarelainen, Kari. 2011a. IP-puhe. Jyväskylä: readme.fi
- Saarelainen, Kari. 2011b. IP-viestintijärjestelmät. Jyväskylä: readme.fi.
- Spencer, M, Capouch, B, Guy, E, Miller, F, Shumard, K. 2010. IAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2. Viitattu 30.11.2014. <http://tools.ietf.org/html/rfc5456>

Tutustu ja menesty verkkosivu. N.d. Viitattu 26.11.2014. <http://www.jamk.fi/fi/Tietoa-JAMKista/Tutustu-JAMKiin/>

User Manual BudgeTone-100 Series IP Phone. N.D. Viitattu 29.11.2014.  
[http://www.grandstream.com/user\\_manuals/budgetone100.pdf](http://www.grandstream.com/user_manuals/budgetone100.pdf)

Vertainen, Marko. Toukokuu 2002. VoIP-laitteiston käyttöönotto ja dokumentointi. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.11.2014.

Väänänen, Juuso. VOIP-oppimisympäristö. Toukokuu 2007. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.11.2014.

## LIITTEET

Liite 1 3CX-puhejärjestelmän versiot

### **3CX-puhejärjestelmän ilmais- ja maksullisten versioiden erot.**

Ilmaisversiossa yhtäaikaisten puheluiden määrä on rajoitettu kahteen puheluun. Myöskään konferenssipuhelut eivät ole mahdollisia ilmaisversiossa. Puheluiden nauhoitus, Call Park- puheluparkki, puheluiden jonotus-ominaisuudet onnistuvat vain maksullisissa Standard- ja Pro-versioissa. 3CX tarjoaa mm. seuraavia jonotusmekanismeja: longest waiting - yhdistetään puhelu henkilölle, joka ei ole vastannut pisimpään aikaan; Least Talk time - henkilölle, joka on puhunut yhteensä vähiten; Fewest Answered – henkilölle, joka on vastannut vähiten puheluihin. Myöskin jonotuksesta saa maksullisissa lisensseissä tarkat tilastot puheluiden erittelyä varten.

Maksulliset versiot tarjoavat myös mahdollisuudet sisäpuhelin-järjestelmällä, sekä kuitusominaisuudelle. Tilatietojen käyttö ei myöskään onnistu ilmaisversiossa. Maksulliset versiot mahdollistivat myöskin vastaajaviestien ja faksien vastaanoton sähköpostin kautta.

Puhelinkestävyys vaatii myöskin maksullisen lisenssin. Maksulliset versiot on mahdollista integroida kolmannen osapuolen järjestelmiin (esim. Microsoft Exchange-palvelin). Ilmaisversiossa on tuki G.711-, G.722-, GSM-, Speex- ja ILBC – protokollille. Maksulliset versiot tukevat lisäksi G.729-protokollaa.

Lähteet:

Break free from your outdate phone system. n.d. Viitattu 15.5.2014.

[http://www.3cx.com/phone-system/3CXPhoneSystem\\_brochure.pdf](http://www.3cx.com/phone-system/3CXPhoneSystem_brochure.pdf)

Manual 3CX Phone System for Windows Version 12. n.d. Viitattu 15.5.2014.

<http://www.3cx.com/manual/3CXPhoneSystemManual12.pdf>