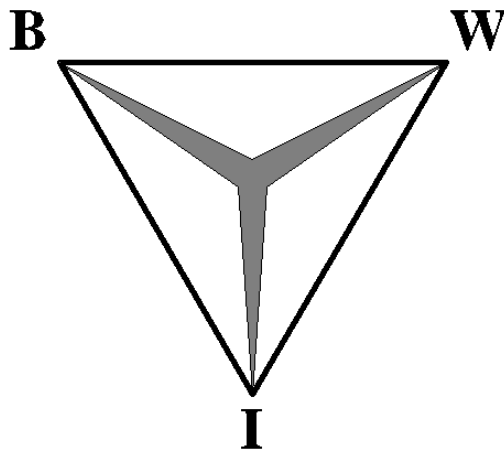


Telefonie van morgen: VoIP

Over de werking en toepassing van VoIP

BCJ Braakman
voorjaar 2007



Vrije Universiteit
Faculteit der Exacte Wetenschappen
Studierichting Bedrijfswiskunde en Informatica
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam



Voorwoord

Een onderdeel van de masterfase van de studie Bedrijfskunde en Informatica is het BWI werkstuk. Hierin doet de student een literatuurstudie naar een onderwerp naar keuze.

Naar aanleiding van een krantenartikel werd mijn interesse gewekt door VoIP, een techniek die een belangrijke invloed heeft op de manier waarop wij in de toekomst met elkaar telefoneren. Niet lang daarna kreeg ik van mijn internetprovider een aanbieding voor internet met telefonie. Op dat moment heb ik mij meer in het onderwerp verdiept en besloten hier mijn BWI werkstuk over te schrijven.

Bij deze wil ik graag mijn begeleider Prof. Dr. R.D. van der Mei bedanken voor de hulp en adviezen bij het maken van dit werkstuk.

Bas Braakman, voorjaar 2007

Samenvatting

Op dit moment wordt het bestaande PSTN telefonienetwerk verdrongen door telefonie dat via een groot IP netwerk gaat, het internet. Deze relatief nieuwe vorm van telefonie heet VoIP, in de volksmond beter bekend als digitale telefonie of bellen via internet. De belangrijkste drijfveer hierachter is de kostenbesparing die de overgang naar één datanetwerk oplevert. Bijkomende voordelen als het ontbreken van een scheiding tussen lokale, nationale en internationale gebieden en de zeer lage kostprijs van datatransport versterken dit effect.

Wel zijn er nog enkele drempels te nemen voordat het PSTN netwerk uitgezet kan worden. Zo dient met name de betrouwbaarheid van VoIP nog toe te nemen en zijn er nog problemen met de bereikbaarheid van alarmnummers als 112.

Er zijn momenteel vrij veel partijen op de VoIP markt. Met name internetproviders adverteren veel om deze voor hen nieuwe markt te veroveren. Ook de traditionele telefoniebedrijven proberen de klanten te behouden en bieden hiervoor ook VoIP diensten aan. Maar ook bedrijven die alleen op internet opereren hebben succes, zo is Skype bij zeer veel mensen bekend.

Qua techniek is er het grootste onderscheid. Waar PSTN een volledig circuit opzet voor een verbinding gaat dit bij VoIP via datapakketten. Deze pakketten zijn niet gegarandeerd van aankomst en kunnen ieder een verschillende vertraging oplopen. Dergelijke factoren hebben grote invloed op de uiteindelijke totale vertraging (end tot end delay) van de verbinding. Bij een groot delay treedt er echovorming op. Al met al zijn er veel technische oplossingen nodig om een goede verbinding in stand te houden.

Om een inschatting te kunnen maken van de dimensionering van een SIP server behandel ik hier twee modellen. Het tweede model is uitgebreider en biedt de mogelijkheid om bepaalde SIP berichten voorrang te geven.

De toekomst ziet er voor VoIP goed uit. De technische bezwaren worden waarschijnlijk snel opgelost. KPN heeft reeds aangegeven al in 2010 het PSTN netwerk uit te willen schakelen, wat een duidelijk signaal is dat VoIP hoe dan ook door zal breken.

Ook de flexibiliteit van VoIP is groter en dat opent de weg naar nieuwe toepassingen. Enkele voorbeelden hiervan zijn videobellen en het vervangen van het telefoonnummer, e-mail adres en instant messenger naam tot één adres.

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| VOORWOORD | 2 |
| SAMENVATTING | 3 |
| INHOUDSOPGAVE | 4 |
| 1. INLEIDING | 6 |
| 2. OVERZICHT VOIP MARKT | 8 |
| 2.1. Wijze van aansluiten | 8 |
| 2.2. VoIP producten | 9 |
| 2.3. Overige VoIP producten | 11 |
| 2.4. Financieel | 12 |
| 2.4.1. Apparatuur | 12 |
| 2.4.2. Belminuten en abonnementen | 12 |
| 3. TECHNIEK | 15 |
| 3.1. Inleiding | 15 |
| 3.1.1. Traditionele telefonie | 15 |
| 3.1.2. VoIP telefonie | 15 |
| 3.2. Het opzetten van een VoIP gesprek | 17 |
| 3.2.1. Registreren | 17 |
| 3.2.2. Verbinding maken | 18 |
| 3.2.3. Verbinding zelf | 19 |
| 3.3. De werking van een VoIP gesprek | 19 |
| 3.3.1. Coderen | 19 |
| 3.3.2. Packetisation | 21 |
| 3.3.3. Transport over IP netwerken | 25 |
| 3.3.4. Depacketisation | 27 |
| 3.3.5. Decoderen | 27 |
| 3.4. Skype | 27 |
| 3.4.1. Succes | 27 |
| 3.4.2. Werking | 28 |
| 3.4.3. Kwaliteit | 29 |
| 3.4.4. Controversieel | 30 |
| 3.5. Aanvullende technieken | 30 |
| 3.5.1. Echo cancellation | 30 |
| 3.5.2. Error concealment | 31 |
| 3.5.3. Perceptual enhancement | 32 |
| 3.5.4. Silence suppression | 33 |
| 3.5.5. RTP header compression | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 4. MODELLEN VOOR DE PERCEPTIE VAN DE GEBRUIKER | 34 |
| 4.1. MOS model | 34 |
| 4.2. E-model | 35 |
| 4.3. Vertraging (Delay) | 36 |
| 5. PERFORMANCEMODEL VAN EEN SIP SERVER | 39 |
| 5.1. SIP functies | 40 |
| 5.2. Coderingssnelheid | 41 |
| 5.3. Typen SIP berichten | 41 |
| 5.4. M G 1 Model | 44 |
| 5.5. M G 1 Model met prioriteiten | 46 |
| 5.6. Voorbeeld | 50 |
| 6. TOEKOMSTVERWACHTINGEN | 51 |
| 6.1. Mobiel telefonieverkeer | 51 |
| 6.2. Mobiel VoIP via Wi-Fi en WiMax | 51 |
| 6.3. Video | 52 |
| 6.4. Eén adres voor alle diensten | 52 |
| 7. CONCLUSIE | 53 |
| 8. BIJLAGEN | 54 |
| 8.1. Codec overzicht | 54 |
| 8.2. Appendix B – Het OSI 7 layer model | 56 |
| 9. BRONVERMELDING | 58 |

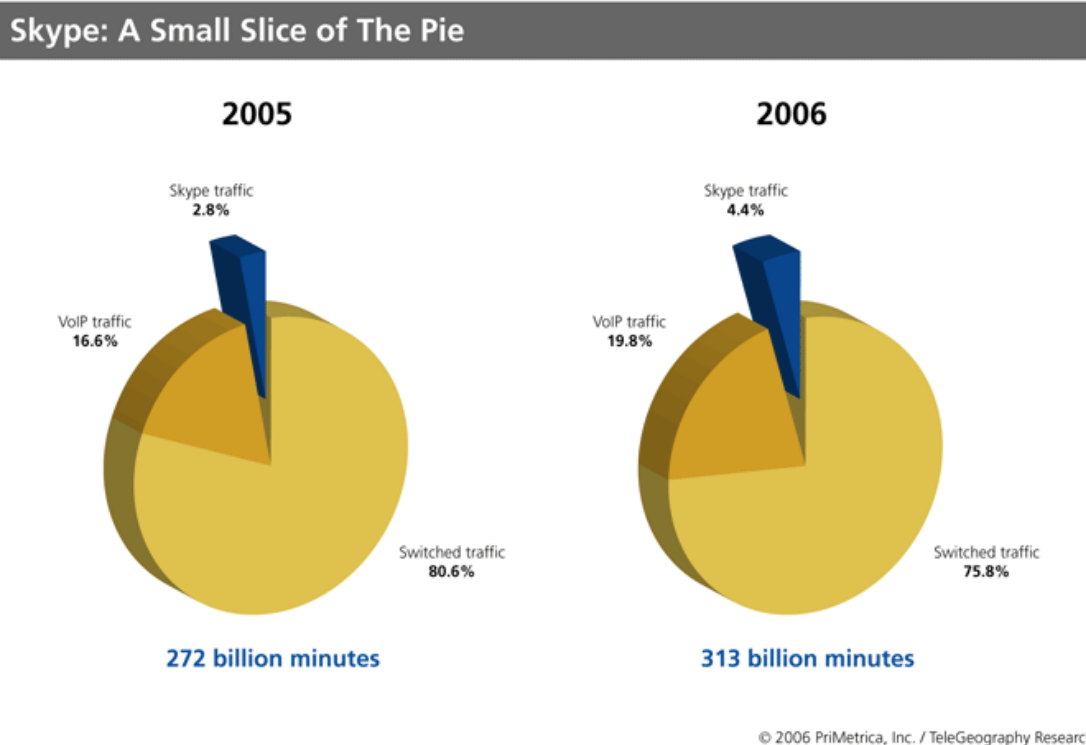
1. Inleiding

Kort gezegd staat VoIP voor bellen via een Internet Protocol (*IP*) netwerk, zoals het internet of een bedrijfsnetwerk. Het is een techniek die leidt tot veel lagere belkosten in de wereld en het onderscheid tussen lokale, interlokale en mondiale gesprekken doet vervagen.

De belangrijkste reden voor deze veranderingen is het verschil tussen de kosten van dataverkeer via internet en de gesprekskosten bij traditionele telefonie. Dataverkeer via internet heeft een zeer lage kostprijs en daar komt bij dat een VoIP gesprek niet veel dataverkeer genereert. Ook is er op het internet voor de consument geen onderscheid tussen datatransport dat nationaal of internationaal is.

Momenteel gaat het laatste deel van een VoIP gesprek vaak via het traditionele telefoonnetwerk, omdat lang niet iedereen over een VoIP telefoon beschikt. Met name voor deze laatste verbinding zijn er een aantal bedrijven die deze verbinding aanbieden. De concurrentie die er op deze markt is zorgt voor lage prijzen. Indien zowel de beller als degene die gebeld wordt een VoIP telefoon heeft is een dergelijke dienst niet meer nodig.

Een ander belangrijk voordeel van VoIP telefonie is dat de koppeling tussen de locatie en het telefoonnummer vervalt. Zo is het mogelijk om met een VoIP thuis in te loggen op de server van het werk en daar alle gesprekken te ontvangen. Ook meerdere telefoons onder één nummer behoort tot de mogelijkheden.



Figuur 11 - Aandeel van VoIP ten opzichte van het totaal aantal wereldwijde belminuten. Het deel dat voor rekening van Skype komt is ook weergegeven.

Uiteraard zijn er ook een aantal nadelen aan deze nieuwe vorm van telefonie verbonden. Zo dient er voor het bellen zonder gebruik te maken van de computer nieuwe apparatuur te worden aangeschaft. Vaak volstaat een VoIP modem, dat het huidige ADSL of kabelinternet modem vervangt. Ook bestaan er VoIP telefoons die op een bestaand modem kunnen worden aangesloten.

Een tweede punt is dat op het moment de tarieven erg ondoorzichtig zijn. Het tarief hangt sterk van het land af waar naartoe gebeld wordt en van de beschikbaarheid van aanbiedingen.

Een ander nadeel is dat het met VoIP telefonie nog niet mogelijk is om alarmnummers te bellen. Er is in Amerika inmiddels een verplichting voor de VoIP bedrijven duidelijk te maken dat alarmnummers moeilijk bereikbaar zijn. De verwachting is dat dit probleem op korte termijn opgelost zal worden.

Als laatste nadeel is er de mogelijkheid dat de stroom uitvalt. Dit zorgt ervoor dat VoIP apparatuur niet meer bruikbaar is. Dit in tegenstelling tot het traditionele telefoonnetwerk dat zijn eigen stroomvoorziening heeft.

De verwachting is dat, ondanks de nadelen op dit moment, binnen enkele jaren de analoge telefonie netwerken worden uitgeschakeld. Zo heeft KPN al aangekondigd al over 2,5 jaar het analoge telefonie netwerk uit te willen zetten. Of deze datum haalbaar is kan nu nog niet gezegd worden, maar de overstap naar VoIP kan wel eens sneller gebeurd zijn dan we verwachten. In Figuur 11 is het aandeel van VoIP telefonie te zien ten opzichte van het wereldwijde aantal belminuten in 2005 en 2006. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat er tegenstrijdige berichten zijn over deze percentages.

In dit werkstuk ga ik in op de mogelijkheden van VoIP en de werking ervan. Zo zal ik in hoofdstuk 2 een overzicht geven van de diverse VoIP toepassingen. In hoofdstuk 3 ga ik dieper in op de techniek van een gesprek. Vervolgens behandel ik in hoofdstuk 4 enkele modellen, waaronder modellen om de perceptie van de gebruiker te classificeren. In hoofdstuk 5 behandel ik een performancemodel van een SIP server en tenslotte bespreek ik in hoofdstuk 6 enkele toekomstige toepassingen.

2. Overzicht VoIP markt

Er zijn, afhankelijk van de VoIP aanbieder, zowel verschillende tariefstructuren als producten. De belangrijkste VoIP producten zijn hieronder genoemd.

2.1. Wijze van aansluiten

De wijze van aansluiten is voor consumenten grofweg verdeeld in twee marktsegmenten.

1. VoIP via de computer

Het is mogelijk gebruik te maken van VoIP met behulp van de computer (D in Figuur 21). Hierbij wordt de rekenkracht van de computer gebruikt om de bewerking van spraaksignaal tot IP pakketten uit te voeren. De initiële kosten van een dergelijke oplossing zijn, afgezien van de computer zelf, laag. Programma's voor VoIP zijn namelijk gratis verkrijgbaar. Ook het bellen naar andere gebruikers van hetzelfde programma is bij alle aanbieders gratis. Bedrijven die in deze markt zitten verdienen onder meer door reclame in het programma en/of het verkopen van belminuten om het bellen met traditionele telefoons mogelijk te maken.

Benodigde apparatuur:

Voor VoIP via de computer volstaat software en een microfoon of een headset. Voorbeelden van software zijn het populaire Skype¹ en Voipbuster². De headset kan ook worden vervangen door een VoIP telefoon die op de computer wordt aangesloten. Vaak worden dergelijke telefoons aangeboden met software van een VoIP aanbieder erbij, in de hoop dat de consument dan voor deze provider kiest. De naam van dergelijke VoIP telefoons is *softphone*, naar de software die het werk doet.

2. VoIP direct via de telefoon

VoIP direct via de telefoon is makkelijker in gebruik dan via de computer, omdat de computer dan niet aan hoeft te staan om te kunnen bellen. Hiervoor is een VoIP modem vereist (B in Figuur 21) of een VoIP telefoon (*IP telefoon*). De producten die internet providers aanbieden zijn vaak van deze vorm. De provider levert namelijk al de internetverbinding en vaak ook het modem. In dit geval zal dat een VoIP modem zijn. Op dit modem kan dan een telefoontoestel aangesloten worden. Het is wel minder eenvoudig om over te stappen naar een concurrent, omdat de contracten vaak een looptijd hebben van een jaar en ook het internetabonnement bij hetzelfde bedrijf is afgesloten.

Benodigde apparatuur:

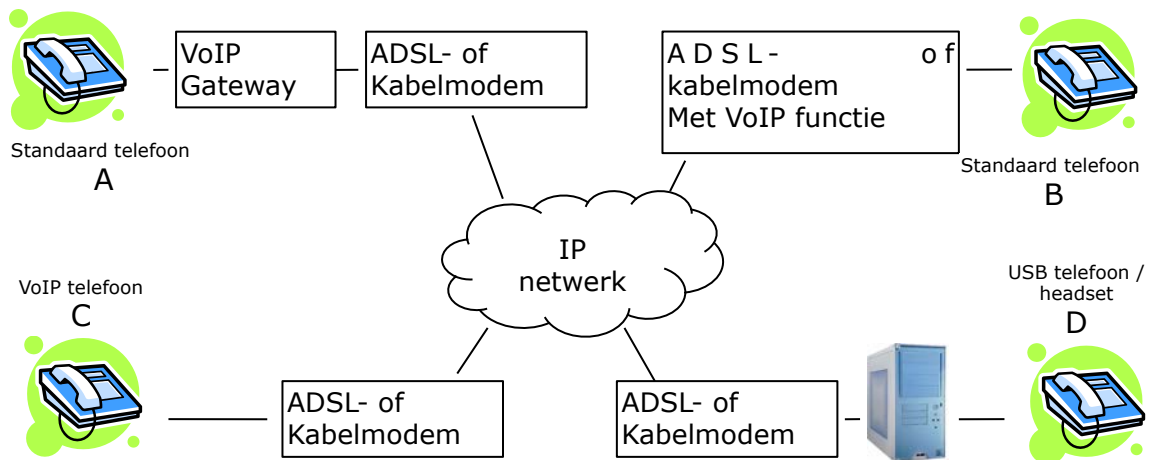
Voor VoIP zonder gebruik van de computer zijn diverse oplossingen mogelijk. In geval van een internetprovider die ook VoIP aanbiedt bestaat de oplossing uit een ADSL- of kabelmodem met VoIP functionaliteit erin. Hierop kan direct een telefoon voor VoIP worden aangesloten.

¹ Skype, www.skype.nl, www.skype.com.

² Voipbuster, www.voipbuster.nl, www.voipbuster.com.

Het is ook mogelijk een VoIP telefoon aan te schaffen die aangesloten kan worden op een standaard ADSL- of kabelmodem (C in Figuur 21). Dit kan door middel van een telefoon met een ethernet aansluiting of een telefoon die via Wi-Fi kan communiceren met een daarvoor geschikt modem.

In plaats van het aanschaffen van een nieuwe telefoon met ingebouwde VoIP functionaliteit kan er gekozen worden voor een VoIP gateway. Dit is een apparaat dat alleen de VoIP functionaliteit bevat en zo de koppeling maakt tussen een analoge telefoon en een internetverbinding (A in Figuur 21).



Figuur 21 – Overzicht van VoIP mogelijkheden voor thuisgebruik via een ADSL- of kabelmodem

Voor bedrijven bestaat de oplossing uit een telefooncentrale die ingebouwde VoIP functionaliteit heeft. Deze centrale kan eenvoudig via een VPN verbinding over het internet in contact staan met een andere vestiging. Er kan dan gratis intern gebeld worden, ongeacht of de locaties in hetzelfde land of het buitenland zijn.

2.2. VoIP producten

1. Bellen van het VoIP netwerk naar het PSTN netwerk

Met VoIP software op de computer is het weliswaar mogelijk om gratis naar andere VoIP gebruikers te bellen, maar het bellen naar de vaste lijn kan pas na betaling. De meeste bedrijven bieden hiervoor een prepaid tegoed aan, al dan niet in combinatie met een vast bedrag per maand. Internet providers die als product internet+VoIP aanbieden hebben deze mogelijkheid standaard in het product en hanteren hier meestal maandelijks abonnementskosten voor. Net als op de vaste lijn hanteren de aanbieders tarieven die afhankelijk zijn van de bestemming waarnaar gebeld wordt en soms ook een starttarief. Ook de periode waarin het beltegoed bewaard wordt kunnen verschillen zitten. Zo is bijvoorbeeld beltegoed bij Skype 6 maanden 'houdbaar', terwijl dit bij concurrenten vaak onbeperkt is. Er zijn ook bedrijven die voor een bepaalde regio of alle gesprekken een *flat fee* abonnement hebben, zoals bijvoorbeeld Vonage in de US aanbiedt.

2. VoIP Telefoonnummer (in een andere regio of land)

Een tweede product is een nieuw of extra telefoonnummer. Het is een nummer waar vanaf het PSTN netwerk naartoe kan worden gebeld. Voor een dergelijk nummer is er geen bestaand PSTN abonnement nodig. In het geval van kabelinternet kan dan het vaste nummer desgewenst worden opgezegd. Bij ADSL is er op dit moment na het opzeggen van een vaste telefonieabonnement alsnog een bijdrage voor de vaste lijn verplicht.

Door een dergelijk nummer in een ander land of regio te kiezen kunnen de personen die naar het nummer bellen belkosten besparen doordat ze lokale tarieven betalen. Dit kan dus zeer voordelig zijn bij gesprekken met kennissen in het buitenland of het voordelig beschikbaar maken van een klantenservice in het buitenland.

Technisch gezien gaat het gesprek vanaf het PSTN nummer verder via het internet en zal veelal via de VoIP aansluiting binnenkomen. Er zijn een aantal aanbieders van deze service, zoals Skype (Skype-in) en Voipbuster. Een dergelijk nummer kost per maand een vast bedrag. Er zijn vaak meerdere telefoonnummers mogelijk.

In Nederland zijn er een nieuw netnummers voor dergelijke nummers. Deze nummers beginnen met 084, 085, 087 en voor bedrijven 088 en zijn dus niet gebonden aan een regio. Goed bruikbaar zijn deze nummers nog niet, omdat veel - met name GSM - providers hier zeer hoge tarieven voor rekenen.

3. VoIP voor bedrijven

Een veelgebruikte VoIP bedrijfsoplossing is die tussen verschillende vestigingen van bedrijven. Door het vervangen van de klassieke telefooncentrales door VoIP centrales en deze onderling te verbinden via het internet kan er tussen alle locaties gratis worden getelefoneerd. Een dergelijke verbinding loopt dan via een *Virtual Private Network* (VPN) dat vaak toch al bestaat tussen locaties. Wel is het aan te raden om bij een verbinding waar ook ander verkeer over gaat quality of service (QoS) technieken toe te passen zodat het voice verkeer voorrang krijgt boven het andere om de kwaliteit van de gesprekken op peil te houden. Zie voor QoS ook paragraaf 3.3.3.2.

Een bijkomend voordeel is dat VoIP telefooncentrales vaak bestaan uit software die op een PC draaien. Dit hoeft geen duur commercieel pakket te zijn. Zo is het open

source pakket Asterisk³ gratis te gebruiken. Hierdoor dalen de kosten voor de aanschaf van een telefooncentrale en het onderhoud, omdat bij traditionele centrales vaak een gespecialiseerde monteur ingehuurd dient te worden. Ook voorkomt het vendor lock-in, omdat de hardware niet meer samen met de software aangeschaft hoeft te worden.

2.3. Overige VoIP producten

Er zijn nog meer producten die gebruik maken van de VoIP techniek. Deze worden echter niet altijd als zodanig aangeboden.

³ Asterisk, www.asterisk.org.

Terugbelsysteem

Een goed voorbeeld van een dergelijke dienst is wat het bedrijf Rebtel aanbiedt. Dit is een dienst waarbij gesprekken naar het buitenland tegen lokale tarieven gevoerd kunnen worden. Met name voor mobiele telefoons scheelt dit veel geld.

Er is wel een abonnement nodig van 1 \$ per maand voor het gebruiken van de service. Het werkt als volgt:

1. Na het registreren bij de dienst maak je per persoon die je wilt bellen bij Rebtel een set telefoonnummers aan. Deze zijn lokaal.
2. Bel dit lokale nummer.
3. Het toestel van degene die je wilt bellen gaat over. Deze persoon moet de telefoon ophangen en terugbellen naar zijn / haar lokale nummer.
4. De verbinding loopt nu via de server van Rebtel.

Nadeel van een dergelijke service is dat er wel lokale gesprekskosten zijn. Dit is echter voor bijvoorbeeld mobiele telefonieabbonementen niet altijd een probleem omdat daar vaak voor een vast aantal minuten per maand gratis gebeld mag worden.

Telefoonkaarten

Om naar het buitenland te bellen zijn er telefoonkaarten verkrijgbaar die aanmerkelijk lagere tarieven bieden dan telefooncellen of overige telefoons. Er dient dan een lokaal of een servicenummer ingetoetst te worden en daarna het nummer van de persoon die je wilt opbellen. De daadwerkelijke verbinding gaat dan vaak via internet (VoIP) naar het land van bestemming.

2.4. Financieel

2.4.1. Apparatuur

Hardwarematig gezien is de USB telefoon de goedkoopste oplossing als er al een internetverbinding is. Deze telefoons zijn al verkrijgbaar vanaf € 12,50. De prijs is zo laag omdat de telefoon zelf nagenoeg niets doet: De software draait op de computer.

Zowel bedrade als draadloze (Wi-Fi) telefoons zijn verkrijgbaar vanaf € 45,00. Deze kunnen dus zonder de computer functioneren. VoIP gateways zijn voor een zelfde prijs verkrijgbaar.

Een derde oplossing voor de consument is een ADSL- of kabelabonnement met een modem dat VoIP functionaliteit bezit. Dit is qua aanschaf vrij voordelig, omdat de modems vaak gratis zijn bij een jaarabonnement. Op de lange termijn is het echter minder voordelig, omdat het modem alleen werkt met de VoIP dienst van de provider. De tarieven vaak hoger zijn dan van andere VoIP providers. Wel kan er via de internetverbinding gebruik worden gemaakt van andere VoIP aanbieders.

2.4.2. Belminuten en abonnementen

Voor een inzicht in de besparingen die met VoIP te behalen zijn is hieronder een overzicht van een aantal providers te zien. Helaas is het door ondoorzichtige tariefstructuren vaak lastig de juiste prijs te achterhalen. Ook zijn er diverse

onaangekondigde prijswijzigingen door de providers, die een bepaalde bestemming opeens gratis maken en/of bestemmingen opeens duurder maken.

| | KPN: Belbasis | KPN: Slim | Skype: SkypeOut | VoIPB uster | Tiscali i Telefo nie | Orange Interne t + Vaste telefoni e Totaal |
|----------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|---|
| Abonnement, € per maand | 18,16 | 19,95 of 24,95 ⁵ | nee | nee | 4,95 ³ | 29,95 ⁶ |
| Minimum bedrag opwaarderen, € | nvt | nvt | 10,00 | 10,00 | nvt | nvt |
| NL Starttarief | 5,18 | 5,0 ⁵ | 4,5 | 0,0 | 0,0 ⁴ | 4,0 - 5,1 |
| NL vastnet | 2,08 - 4,39 | 2,5 ⁵ | 2,0 | 0,0 ¹ | 0,0 ⁴ | 0,0 |
| NL mobiel | 16,0 - 18,0 | 16,5 | 25,3 | 29,8 | 16,5 | 16,5 |
| Buitenland starttarief | 10,35 | 5,0 | 4,5 | 0,0 | 5,0 | 5,1 |
| NL Antillen | 45,27 | 40,0 | 15,9 | 7,1 ² | 32,0 | 35,0 |
| DE vast | 7,5 | 4,0 | 2,0 | 1,2 | 4,5 | 5,0 |
| DE Mobiel | 26,1 | 29,0 | Onbek. | 23,8 | 29,5 | 30,0 |
| BE vast | 8,1 | 4,0 | 2,0 | 0,0 ² | 4,5 | 5,0 |
| BE Mobiel | 32,5 | 29,0 | 24,3 | 23,8 | 29,5 | 30,0 |
| ZA vastnet | 62,24 | 40,0 | 6,3 | 3,6 ¹ | 32,0 | 35,0 |
| ZA mobiel | 88,49 | 29,0 | 21,7 | 20,2 | 57,0 | 60,0 |
| USA vastnet | 5,65 - 7,45 | 4,0 | 2,0 | 0,0 ^{1 2} | 4,5 | 5,0 |
| USA mobiel | Onbekend | 29,0 | 2,0 | 0,0 ^{1 2} | 29,5 | 5,0 |

**Tabel 21 – Enkele tarieven van Nederlandse VoIP aanbieders rond eind februari 2007.
Bedragen zijn in centen tenzij anders aangegeven.**

¹ = Gratis voor maximaal 300 minuten per week na het storten van 10 Euro. Gesprekken worden na 1 uur afgebroken. Dit tegoed moet na 4 maanden opgewaardeerd worden om deze gratis optie te behouden. Gratis bellen naar andere Betamax GmbH klanten via SIP-URI, zie <http://www.myvoipprovider.com/blogcategory/Betamax/> voor een overzicht.

² = Actietarief

³ = Plus de kosten van een ADSL abonnement. Bij de duurdere abonnementen vervalt dit tarief.

⁴ = Op basis van fair use, limiet van ongeveer 2000 minuten per maand

⁵ = Bij een abonnement van 19,95 500 belminuten gratis, bij 24,95 1000 belminuten gratis per maand. Deze gratis belminuten zijn alleen naar vaste nummers in Nederland bruikbaar. Verder gratis bellen naar andere KPN Slim klanten en gratis 320 kbps internet.

⁶ = Plus 20 Mbit/s internet en gratis bellen naar overige Orange Vaste Telefonie klanten.

Zoals te zien is in het overzicht variëren de tarieven sterk en loont het om verschillende providers te bezoeken alvorens een keuze te maken. Het bezoeken van vergelijkingssites kan de keuze vereenvoudigen.

In het algemeen geldt dat het duur is om naar mobiele netwerken te bellen, met uitzondering van de Verenigde Staten.

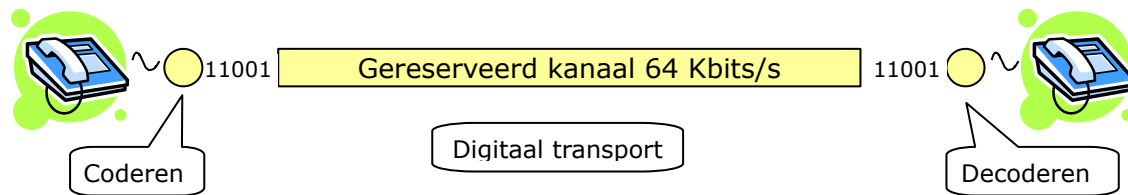
3. Techniek

3.1. Inleiding

3.1.1. Traditionele telefonie

Traditionele telefonie werkt door het schakelen van circuits, het zogenaamde *circuit switching*. Hierbij krijgt iedere klant de beschikking over een deel van het telefooncircuit wat gedurende het gesprek verbonden blijft. Aanvankelijk werd er via de verbinding een analoog elektrisch signaal gestuurd. In de loop van de tijd is er steeds meer gedigitaliseerd in het telefoonnetwerk, zowel om de kwaliteit te verbeteren als de kosten te drukken. Momenteel is bij telefonie alleen het laatste deel van de wijkcentrale naar de klant toe nog analoog. Bij ISDN is het hele netwerk digitaal, daarbij wordt in de ISDN telefoon het signaal gedigitaliseerd.

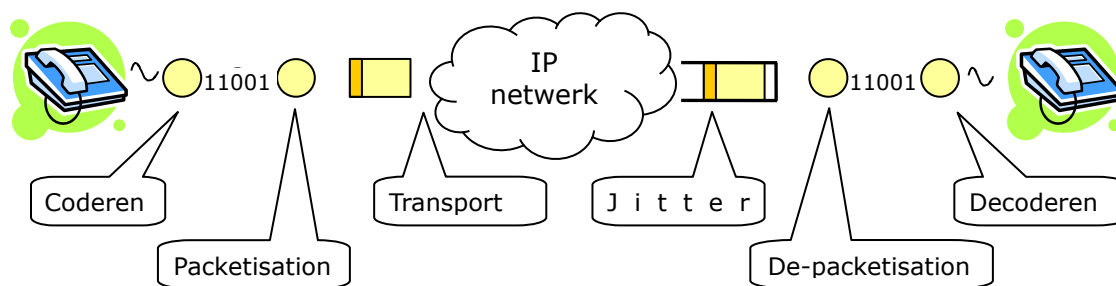
Vanuit het oogpunt van de klant functioneert traditionele telefonie als een verbinding met een gegarandeerde bandbreedte.



Figuur 31 – Traditionele telefonie

3.1.2. VoIP telefonie

In tegenstelling tot traditionele telefonie werkt VoIP telefonie met *packet switching*. Hierbij wordt het geluid gedigitaliseerd en vervolgens in packets opgedeeld. Dit zorgt ervoor dat het transport van de data niet meer over een vast (of geschakeld) circuit hoeft te lopen maar over een datanetwerk verstuurd kan worden. Dit datanetwerk waardoor de gesprekken verstuurd worden kan onder meer een privé netwerk zijn (LAN / WAN) of een publiek netwerk (bijvoorbeeld het internet) of een combinatie van beide.



Figuur 32 – VoIP telefonie

Hier worden de volgende vijf stappen doorlopen:

- coderen
- packetisation
- transporteren
- de-packetisation
- decoderen

Op deze stappen wordt nader ingegaan in de volgende paragrafen. Door het toegenomen aantal verwerkingsstappen ten opzichte van traditionele telefonie en het versturen over een netwerk zonder garanties is er voor VoIP telefonie geen gegarandeerde kwaliteit. Hier wordt in paragraaf 3.3.2.1 verder op ingegaan.

De werking van VoIP is vastgelegd in protocollen, zodat systemen van verschillende fabrikanten zonder problemen samen kunnen werken. Er zijn verschillende protocollen nodig die ieder een gedeelte van de totale functionaliteit voor hun rekening nemen. Als eerste is er een protocol dat de basis legt: Het opzetten van een verbinding tussen de twee partijen. Vervolgens is er een protocol voor het onderhandelen over welke codec, sampling rate, packet size en aanvullende protocollen er gebruikt gaan worden. De derde stap is het versturen van het gesprek zelf over een IP netwerk. Er kunnen extra protocollen gebruikt worden, zoals echo cancellation of een manier om terug te melden aan de verzender hoe de kwaliteit van de ontvangen data is (RTCP).

Er zijn momenteel drie veel gebruikte VoIP protocollen. De eerste is het protocol dat Skype gebruikt. Dit is een gesloten protocol en de precieze werking is onbekend. Wel is er door enkele personen onderzoek gedaan naar de werking ervan. Hier wordt in paragraaf 3.4 nader op ingegaan. De twee andere protocollen zijn het SIP protocol dat ontwikkeld is door het IETF⁴ en het H.323 protocol dat ontwikkeld is door het ITU⁵, welke beide wel openbaar zijn. H.323 is eerder ontwikkeld dan SIP. H.323 was aanvankelijk bedoeld voor gebruik over een LAN. Het is complexer van opzet dan SIP, dat tekstgebaseerd is en op het HTTP protocol lijkt. De gespreksdata die verstuurd wordt kan gelijk zijn voor beide protocollen, omdat er uit dezelfde codecs gekozen kan worden en zelfs het transport van het gesprek in beide gevallen via RTP verloopt. Er zijn dan ook gateways die gesprekken om kunnen zetten van SIP naar H.323 en omgekeerd.

Hieronder te zien welke protocollen er gebruikt worden voor SIP en voor H.323.

⁴ Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org>.

⁵ International Telecommunication Union, <http://www.itu.int>.

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| | SIP | H.323 |
| Opzetten en beëindigen sessie | SIP | H.225 (bevat Q.931) |
| Onderhandeling | SDP | H.245 |
| Transport van spraak over IP | RTP, RTCP, SRTP | RTP, RTCP, SRTP |
| Codecs | onafhankelijk, meest gebruikte zijn G.711, G.729 en G.729a | G.711, G.722, G.723, G.728, G.729 |
| Overige protocollen | | H.235 (beveiliging), H.246 (verbinding met PSTN), H.450.x (call transfer etc.) G.165 (echo cancellation) |

Tabel 31 – Overzicht van gebruikte protocollen voor SIP en H.323

De meeste protocollen zijn echter veel breder van opzet dan hier weergegeven. Zo is zowel SIP als H.323 ook te gebruiken voor video en data toepassingen, zoals online gaming. Ook aan toekomstige toepassingen is gedacht. Het SIP protocol is slechts om sessies op te zetten. Van die sessies kunnen in principe allerlei toepassingen gebruik maken. H.323 is daarentegen meer een totaalpakket maar laat wel de vrijheid aan fabrikanten hier uitbreidingen op te maken.

In paragrafen 3.2 en 3.3 wordt nader ingegaan op de exacte werking van een VoIP gesprek. Als voorbeeld heb ik hier gekozen voor het SIP protocol. Een verbinding via H.323 werkt nagenoeg via dezelfde stappen. Een gesprek via Skype verloopt ook op een vergelijkbare manier.

3.2. Het opzetten van een VoIP gesprek

Voor het mogelijk is een VoIP gesprek te voeren dient er eerst een verbinding tot stand te worden gebracht. Deze verbinding is tweeledig: eerst meldt een VoIP eindpunt zich aan bij het netwerk. Vervolgens kan er een gesprek worden geïnitieerd via een van de aangesloten apparaten.

3.2.1. Registreren

In tegenstelling tot een traditioneel telefoonnetwerk is een telefoonnummer bij VoIP niet gekoppeld aan een vaste lijn. Het telefoonnummer is vanuit het PSTN gezien gekoppeld aan een server. De VoIP telefoon of client kan op deze server inloggen door middel van een naam en een wachtwoord. Het is voor VoIP telefoons die uitsluitend via internet werken dan ook mogelijk om de telefoon mee te nemen naar een andere locatie waar internet beschikbaar is en hier te bellen met het eigen telefoonnummer. Voor VoIP waarbij deze aangeboden wordt door een internetprovider is dit meenemen van de telefoon vaak beperkt tot hetzelfde netwerk van de provider. Dit komt omdat de provider goedkoper uit is als het dataverkeer over het eigen netwerk loopt en daarom deze restrictie hanteert.

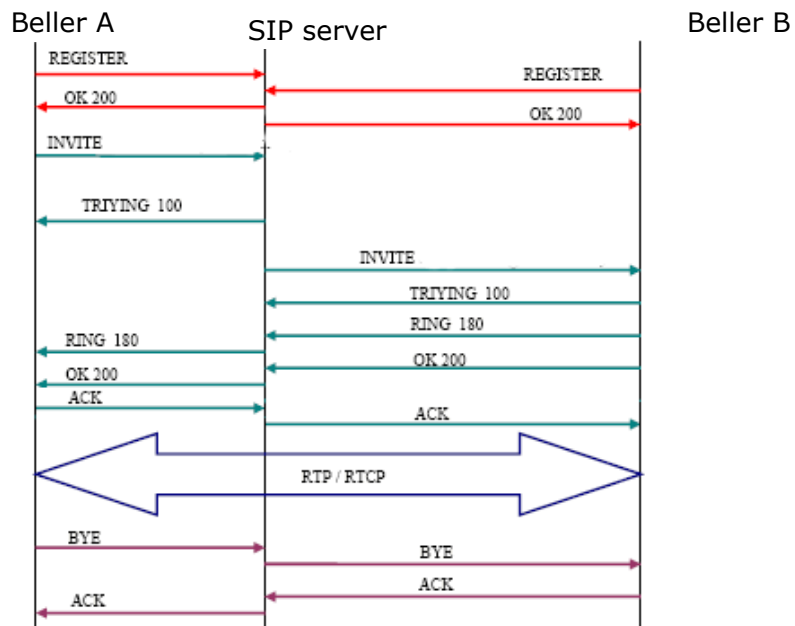
Schematisch is hieronder weergegeven hoe het registreren van een telefoonnummer in zijn werk gaat voor het SIP protocol ("register" message).

```

Via: SIP/2.0/UDP
192.168.0.100:5060;rport;branch=z9hG4bK646464100000000b43c52d6c0000d12
0000f03
Content-Length: 0
Contact: <sip:20000@192.168.0.100:5060>
Call-ID: ED9A8038-A29D-40AB-95B1-0F5F5E905574@192.168.0.100
CSeq: 36 REGISTER
From: <sip:20000@192.168.0.101>;tag=910033437093
Max-Forwards: 70
To: <sip:20000@192.168.0.101>
User-Agent: SJphone/1.60.289a (SJ Labs)
Authorization: Digest
username="20000",realm="192.168.0.101",nonce="43c52e9d29317c0bf1f885b9a
aff1522d93c7692",uri="192.168.0.101",response="f69463b8d3efdb87c388efa9
belale63"

```

In Figuur 33 hieronder is in rood de registratie aangegeven.



Figuur 33 – Voorbeeld van een SIP gesprek. De middelste lijn is de SIP registerserver en tevens de proxyserver

3.2.2. Verbinding maken

Nadat er een registratie van de telefoon heeft plaatsgevonden is het mogelijk te telefoneren. Dit loopt via de SIP server die vervolgens opzoekt welk IP adres de andere beller heeft en legt dan contact.

Er zijn twee typen SIP proxy servers. De eerste is een stateless server. Een dergelijke server is slechts een doorgeefluik en kan daardoor een vrij groot aantal cliënten aan. Een stateful proxy server daarentegen houdt bij hoe de status van het

gesprek op dat moment is en kan daardoor extra functies vervullen, zoals het informeren van een server die betalingen registreert of extra informatie terugmelden aan de beller. Dit kost iets meer rekenkracht en geheugengebruik en daardoor kan een dergelijke server minder cliënten tegelijkertijd aan.

Er bestaat ook een SIP redirect server die alleen SIP berichten aanneemt en deze met een gewijzigd adres weer terugmeldt aan de zender. Doordat een dergelijke server bijna niets hoeft te doen is het mogelijk zeer veel requests af te handelen.

Zie hiervoor hoofdstuk 5.

3.2.3. Verbinding zelf

Bij voorkeur wordt de RTP verbinding voor gesprek zelf direct tussen de twee bellers opgezet. Zo blijft de vertraging minimaal. Helaas is dat in het geval van een firewall op beide computers niet mogelijk en is er een extra server nodig die als doorgeefluik fungeert. Wel zijn er extra mogelijkheden als er een server tussen zit. Deze kan bijvoorbeeld gesprekken opnemen. De Asterisk telefooncentrale werkt op die manier.

3.3. De werking van een VoIP gesprek

In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op de werking van VoIP als techniek. Hierbij wordt ingegaan op de verschillende stappen die doorlopen worden bij transmissie van geluid (data) over een VoIP verbinding.

3.3.1. Coderen

3.3.1.1. Digitaliseren

Bij de coderingsstap wordt het analoge geluid eerst gedigitaliseerd en daarna meestal gecomprimeerd. Voor het digitaliseren wordt gebruik gemaakt van een AD (analoog-digitaal) converter. Een dergelijke converter heeft een aantal eigenschappen die van invloed zijn op de geluidskwaliteit. De twee belangrijkste eigenschappen zijn:

- Bemonsteringsfrequentie (*sample rate*), gemeten in Hz
- Nauwkeurigheid (aantal bits)

Sample rate

De sample rate is het aantal momenten per seconde waarop er een sample wordt genomen van het geluid. Deze frequentie dient minmaal twee keer zo hoog te zijn als de hoogste frequentie die gereproduceerd dient te worden, conform de Nyquist theorie. Voor de opname van spraak wordt veelal een sample rate van 8 KHz gebruikt, wat betekent dat frequenties tussen de 0 en 4 KHz zonder vervorming gereproduceerd kunnen worden.

Nauwkeurigheid

Het aantal bits dat wordt gebruikt geeft aan hoe nauwkeurig een sample is. Het digitale signaal (discreet) is namelijk een benadering van het analoge signaal (continu). In feite is het aantal bits in hoeveel waarden het analoge geluid kan worden opgedeeld. Een 8-bits opname heeft per sample $2^8 = 256$ mogelijke waarden

en een 16 bits opname $2^{16} = 65536$. Het spreekt voor zich dat een 16 bits opname veel nauwkeuriger is.

Het digitaliseren gaat zeer snel en zorgt nauwelijks voor een vertraging. Bij nagenoeg alle VoIP toepassingen wordt er gedigitaliseerd op 8 KHz en 8 bits.

3.3.1.2.Coderen

Vervolgens wordt het digitale geluid bewerkt om de hoeveelheid data te beperken. Voor een enkel gesprek is hier niet direct een noodzaak voor, worden er echter veel gesprekken gevoerd dan kan de hoeveelheid data die verstuurd wordt aardig oplopen. Dit resulteert dan weer in een hogere rekening voor de verbruikte hoeveelheid data. Vandaar de voorkeur om een codec te gebruiken en zo de hoeveelheid data te beperken.

Het woord *codec* is een samentrekking is van **coderen** en **decoderen**. Codecs zijn er zowel voor videodata als voor audiodata. Bij VoIP worden audiocodecs gebruikt. De meeste codecs die gebruikt worden zijn *lossy*, dat wil zeggen dat er in het coderingsproces data wordt weggegooid en de originele data niet meer volledig te reconstrueren is. De codec zorgt dan voor een benadering van het geluid. Het tegenovergestelde van een *lossy* codec is een *lossless* codec, bij deze manier van coderen is het origineel volledig te reconstrueren.

Bij het coderen wordt een afweging gemaakt tussen de benodigde coderingstijd, de uiteindelijke omvang van de data en de kwaliteit van het geluid zoals dat door de gebruiker wordt ervaren. Enkele belangrijke eigenschappen van codecs zijn:

- Coderingstijd
- Data omvang
- Geluidskwaliteit

Coderingstijd

Voor ieder coderingsproces is een bepaalde tijd benodigd. Deze tijd wordt uitgedrukt in milliseconden (*ms*).

Data omvang

De hoeveelheid data die overblijft na het coderen speelt een belangrijke rol bij het verder transporteren hiervan. Bij minder data is een kleinere bandbreedte voldoende. In het algemeen betekent een grotere datastroom een betere geluidskwaliteit. Het is echter ook mogelijk dat een codec beter is dan een andere, en zo op een lagere *bitrate* een betere geluidskwaliteit kan leveren. De omvang van de data wordt meestal weergegeven in kilobits per seconde (kb/s), ook wel *bitrate* genoemd.

Geluidskwaliteit

Een doorslaggevende factor voor VoIP telefonie is uiteraard de geluidskwaliteit zelf. Alleen een *lossless* codec heeft geen directe invloed op de geluidskwaliteit. Uiteraard wordt deze daarna nog beïnvloedt door de verbinding. Omdat de geluidskwaliteit subjectief is wordt deze vaak gemeten met behulp van de Mean Opinion Score (MOS), zie hiervoor paragraaf 3.5.

De keuze van de codec bepaalt in belangrijke mate de kwaliteit van het gesprek. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de beschikbare bandbreedte op de lijn en de totale vertraging. Het kiezen van een codec die weinig comprimeert op een lijn die weinig bandbreedte heeft zorgt voor een slechte spraakkwaliteit vanwege de te grote hoeveelheid data. Ook als er gekozen wordt voor een codec die te veel tijd

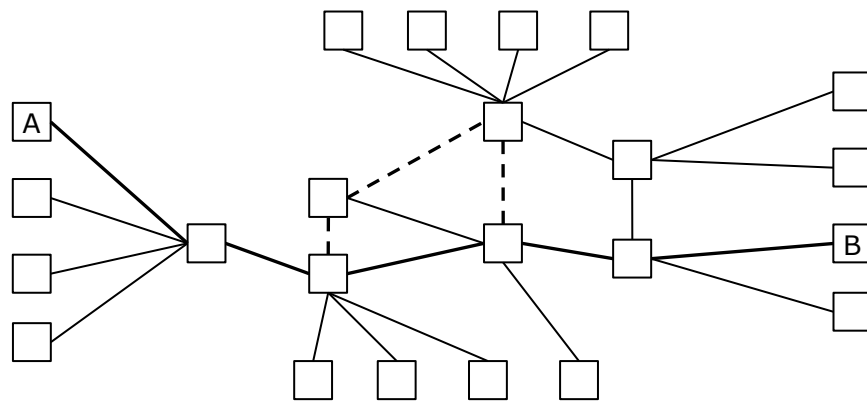
nodig heeft om te comprimeren (de geluidskwaliteit van de codec zelf kan dan wel goed zijn) en daardoor de totale vertraging te hoog wordt leidt tot een slechte geluidskwaliteit. Bijvoorbeeld bij traditionele 56Kbit/s modems waarbij een hoge latency is. In het algemeen zijn deze problemen opgelost bij een goede verbinding met een lage latency, zoals een ADSL of kabel verbinding.

3.3.2. Packetisation

De data die uit het coderingsproces komt wordt vervolgens geschikt gemaakt voor transport over een *IP* netwerk. IP staat voor Internet Protocol, een protocol voor een packet switching netwerk. Het bekendste voorbeeld van een IP netwerk is het internet.

3.3.2.1. Opbouw van een IP netwerk

Een IP netwerk bestaat uit aan elkaar gekoppelde apparaten, zoals switches, routers en servers. Deze apparaten zijn onderling met andere switches en eindpunten verbonden, waarbij het doel bijna altijd via meerdere wegen kan worden bereikt.



Figuur 34 – Voorbeeld van een IP netwerk

Zoals te zien is in het figuur is er geen directe verbinding van A naar het B. Aan de hand van het IP adres van B 'weten' de switches welke kant een packet het beste op gestuurd kan worden. Dit is echter geen statisch proces, aangezien er voortdurend veranderingen zijn op het netwerk. Zo is het bijvoorbeeld op het ene moment drukker dan het andere door vertragingen en opstoppingen of kan er een verbinding buiten werking zijn. De vette lijn geeft een mogelijke route weer. Mocht er een opstopping of vertraging zijn kan bijvoorbeeld de stippelroute gebruikt worden.

Switches hebben een buffer om inkomende data op te slaan, zodat kleine variaties in snelheid opgevangen kunnen worden en de packets gecontroleerd kunnen worden op correctheid. Om problemen als opstopping te voorkomen kunnen switches packets negeren. Er is dus geen garantie dat packets ook daadwerkelijk aankomen op de plaats van bestemming. Dit is een algemeen gegeven en de toepassing die data verstuurt over het netwerk dient daar rekening mee te houden. De werking van een IP netwerk heeft een aantal implicaties:

- Aankomst van een packet is niet gegarandeerd.

- De totale transportduur is vooraf onbekend.
- Packets kunnen verschillende routes volgen en later verstuurd packets kunnen eerder aankomen.

Ondanks de beperkingen blijkt een dergelijk netwerk in de praktijk goed te werken.

3.3.2.2. Het OSI model

Een IP netwerk bestaat uit een combinatie van diverse protocollen. Om een goed beeld te krijgen van de opbouw van deze protocollen kan het *Open Systems Interconnection Reference Model (OSI)* model gebruikt worden. Zie voor een uitgebreid overzicht Appendix 8.2. Het model behandelt verschillende lagen, waaronder de fysieke verbinding (laag 1) en de uiteindelijke applicatie laag (laag 7). Lagen 1 en 2 verzorgen de fysieke verbinding en garanderen het transport van bits. Dit kan via verschillende technieken, bijvoorbeeld via ADSL of via een ethernet aansluiting. Doordat de hogere lagen geen kennis hebben van de onderliggende transportlaag kunnen de diverse transporttechnieken zonder problemen samenwerken. Het IP protocol valt onder de netwerklaag (laag 3) en definieert de packets. De IP packets bevatten een *header*, waarin basiseigenschappen van het packet zijn genoteerd, en een data gedeelte. Aangezien ook laag 3 in het model geen garanties biedt wat betreft transport, zijn er in laag 4 (transportlaag) protocollen die dit probleem oplossen, al is dit afhankelijk van de toepassing of dit wenselijk is. Voor VoIP verkeer is het bijvoorbeeld niet handig verloren packets opnieuw te versturen, aangezien dit leidt tot enorme vertragingen in het gesprek.

3.3.2.3. VoIP packet

De opbouw van een IP packet met VoIP data is vastgelegd in een aantal protocollen. Deze protocollen worden als het ware gestapeld op elkaar, waarbij steeds de header voorafgaat aan de data.

3.3.2.3.1. IP protocol

De huidige versie van het IP protocol is IPv4. De packets zien er als volgt uit.

| Bytes totaal | Bits 0-3 | 4-7 | 8-15 | 16-18 | 19-31 |
|--------------|-------------------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------|
| 0 | Versie | Header length | Service type | Totale packet lengte | |
| 4 | Identificatie | | | Vlag | Fragment offset |
| 8 | Time to leave (TTL) | | Protocol | Header checksum | |
| 12 | Adres afzender | | | | |
| 16 | Adres bestemming | | | | |
| 20 | Opties | | | | |
| 21+ | Data (variabele lengte) | | | | |

Tabel 32 – IPv4 Packet header

Hierbij is het laatste gedeelte bestemd voor de data die verstuurd wordt. De grootte van een IP packet kan variabel zijn, dit komt door de variabele grootte van de te

transporteren data. De grootte van een IP header is 20 bytes (160 bits). Het dataveld bevat het volgende protocol.

3.3.2.3.2. UDP protocol

Voor VoIP data worden nog twee protocollen gebruikt. Bovenop het IP protocol zijn er in laag 4 van het OSI model grofweg twee keuzes: het *Transmission Control Protocol (TCP)* of het *User Datagram Protocol (UDP)*. Beide protocollen voegen een header toe aan de IP header. Het TCP protocol is ontworpen om het transport van IP packets te garanderen en zet daarom eerst een verbinding op tussen de zender en de ontvanger. Voor VoIP data is het echter van belang de latency zo laag mogelijk te houden en worden de packets slechts één maal verstuurd. Hiervoor wordt het UDP protocol gebruikt. Het UDP protocol heeft een header van 8 bytes (zie Tabel 33).

| Bytes totaal | Bits 0-15 | Bits 16-31 |
|--------------|------------------------|------------------|
| 0 | Source poort | Bestemming poort |
| 4 | Lengte data segment | Checksum |
| 8+ | Data (lengte variabel) | |

Tabel 33 – UDP header

Er kleven echter ook een nadelen aan het UDP protocol. In tegenstelling tot TCP is er geen feedback over de verbinding. Het is onduidelijk of het packet goed is aangekomen. Een tweede nadeel is dat er niets bekend is van de volgorde waarin de packets verstuurd zijn. Zoals eerder opgemerkt kunnen packets verschillende routes afleggen en daardoor kunnen later verzonden packets eerder aankomen. Om deze problemen te verhelpen wordt er gebruik gemaakt van het RTP protocol.

3.3.2.3.3. RTP protocol

Het *Realtime Transport Protocol (RTP)* protocol is specifiek ontworpen voor realtime toepassingen zoals VoIP en video conferencing. Het RTP protocol biedt de mogelijkheid om de volgorde van de packets te kunnen achterhalen en doormiddel van een buffer de data weer in de goede volgorde te zetten.

| Bits Bytes totaal | 0-1 | 2 | 3 | 4-7 | 8 | 9-15 | 16-18 | 19-31 |
|----------------------|--|---|---|-----|---|------|-----------------|-------|
| 0 | Versie | P | X | CC | M | PT | Sequence number | |
| 4 | Timestamp | | | | | | | |
| 8 | Synchronisatienummer van afzender (SSRC) | | | | | | | |
| 12 | Data (variabele lengte) | | | | | | | |

Tabel 34 – RTP header

De belangrijkste velden zijn:

- Sequence number: Nummer dat steeds opgehoogd wordt door de afzender zodat de volgorde van de packets bekend is.

- Timestamp: tijdstip van verzending, geeft aan wanneer het packet verzonden is.
- SSRC: Een willekeurig gekozen nummer dat dient ter identificatie van de afzender.

De noodzaak voor zowel een sequence number als een timestamp komt doordat het niet verplicht is om continu packets te sturen. Bij bijvoorbeeld codecs met *silence suppression* (zie paragraaf 3.5.4) wordt er geen data verzonden als dat niet nodig is. Via het timestamp veld weet de ontvangende partij wanneer er weer begonnen is met verzenden en dus ook hoe lang de pauze geduurd heeft. Het SSRC nummer is vooral van belang als er meerder streams tegelijk over een verbinding worden verstuurd.

De grootte van de RTP header is 12 bytes, waarmee de totale header grootte op 40 bytes komt. Dit is in onderstaande tabel weergegeven.

| | |
|-------|----------------|
| Bytes | |
| 0-20 | IP header |
| 20-28 | UDP header |
| 28-40 | RTP header |
| 40+ | Data (payload) |

Tabel 35 – Overzicht compleet VoIP packet

3.3.2.3.4. RTCP protocol

Het RTP protocol biedt weliswaar de mogelijkheid om data te verzenden, maar een mogelijkheid tot het geven van informatie over de verbinding ontbreekt. Ook in de onderliggende IP en UDP protocollen bieden geen mogelijkheid tot het geven van feedback over de kwaliteit van de verbinding. Als er bijvoorbeeld door opstopping in het netwerk veel packets niet aankomen, is het raadzaam een lagere bitrate of een andere codec te kiezen. Voor het sturen van feedback is het *Real Time Control Protocol* (RTCP), dat gebruikt wordt in combinatie met RTP. Het RTCP protocol analyseert de kwaliteit van de verbinding en stuurt van tijd tot tijd deze informatie naar de andere partij. Hierbij wordt onder andere het aantal verzonden bytes en packets verstuurd, alsmede het aantal verloren packets, de hoeveelheid jitter en de round trip time.

3.3.3. Transport over IP netwerken

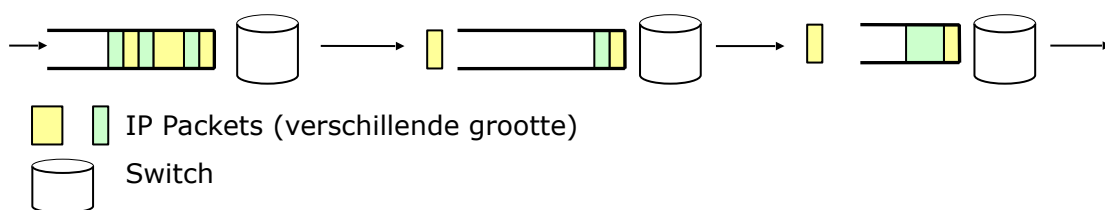
De volgende stap is het verzenden van de VoIP packets over het IP netwerk.

3.3.3.1. Best effort netwerk

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 3.3.2.1 is er op een IP netwerk geen gegarandeerde bandbreedte en kunnen packets worden genegeerd. De achterliggende reden hiervoor is dat deze aannames het ontwerpen van switches in het netwerk veel eenvoudiger maakt. Deze hoeven slechts zo goed mogelijk de inkomende data door te sturen naar de volgende schakel in het netwerk. Wel wordt er geprobeerd dit zo goed mogelijk te doen. Daarom wordt de term *best effort* gebruikt als kwalificatie van een IP netwerk.

3.3.3.2. Wachtrij

In Figuur 35 is te zien dat de packets van de ene switch naar de andere worden gestuurd. Bij iedere switch is een wachtrij waar de packets vaak enige tijd moeten wachten.

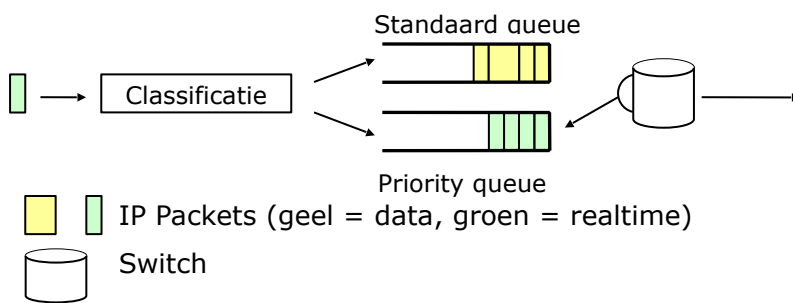


Figuur 35 - Enkele switches met wachtrij

De wachttijd varieert per switch en ook per packet. Een switch dient van een packet de checksum te controleren, zodat er geen beschadigde of onvolledige packets

doorgestuurd worden. Dit zorgt er echter voor dat het hele packet eerst in de switch opgeslagen wordt voordat er kan worden begonnen met het doorsturen ervan. Dit brengt een kleine vertraging met zich mee. De tijd voordat een packet doorgestuurd wordt is dus een combinatie van de wachttijd en de controletijd. Wel is het mogelijk packets in de wachtrij alvast te controleren.

Een IP packet loopt een belangrijk deel van de vertraging op in wachtrijen in switches. Een oplossing hiervoor is een systeem met prioriteiten, zodat realtime toepassingen voorrang krijgen op standaard verkeer. Het is nauwelijks merkbaar als een bestand dat iemand aan het downloaden is enige vertraging oploopt, terwijl dit bij realtime toepassingen wel gelijk opvalt. De kwaliteit van de verbinding wordt aangegeven met de term *Quality of Service (QoS)*, waarbij een dergelijk systeem met prioriteiten *Preferential Quality of Service* wordt genoemd. De switch is als volgt te modelleren:



Figuur 36 - Priority queue met 2 klassen

In Figuur 36 is een queue met 2 klassen weergegeven, maar dit kunnen ook meerdere klassen zijn. Er zijn diverse mogelijkheden om de wachtrijen te bedienen. Dit kan zowel statisch (met vooraf ingestelde constanten per wachtrij) of dynamisch (afhankelijk van de inhoud van de wachtrij op het moment). Theoretisch is de beste oplossing om alle wachtrijen tegelijk een gedeelte van de verbinding te geven. Dit heet *Generalized processor Sharing (GPS)*. In de praktijk is dat echter niet mogelijk, omdat alle packets na elkaar verzonden worden. Wel zijn er benaderingen van GPS, zoals *Weighted Fair Queueing (WFQ)*.

Enkele voorbeelden van bedieningsalgoritmes zijn:

- Round Robin. Hierbij worden de wachtrijen om en om, packet voor packet bediend.
- Weighted Round Robin. Hierbij wordt per wachtrij een aantal packets achter elkaar bediend (afhankelijk van de prioriteit) voordat de volgende wachtrij bediend wordt.

- Weighted Fair Queueing. Hierbij wordt dynamisch per wachtrij een gewicht berekend, dat een combinatie kan zijn van de prioriteit, het aantal in de wachtrij en de grootte van het packet. Het packet met het zwaarste gewicht wordt als eerste bediend.

3.3.4. Depacketisation

De vierde stap is het uitpakken van de packets, depacketisation genoemd. Hierbij is het belangrijk de packets weer in de goede volgorde te hebben zodat de data in de goede volgorde naar de codec kan worden gestuurd. De verschillen in aankomsttijd van de packets wordt jitter genoemd. Om dit op te vangen is een jitter buffer benodigd die packets die eerder aankomen tijdelijk opvangt. Helaas vertraagt deze buffer de doorvoer. Het is daarom van belang slechts een bepaalde tijd te wachten tot de benodigde packets aankomen. Op een gegeven moment kan een packet beter als verloren worden beschouwd dan dat er langer op moet worden gewacht. De vertraging die zou ontstaan door langer te wachten weegt dan niet op tegen de verminderde kwaliteit door het wegvallen van een klein stuk gesprek.

3.3.5. Decoderen

Voor het decoderen van de data is dezelfde codec benodigd die gebruikt werd voor het coderen. De codec wordt gevoed met de payload uit de packets. Het decoderen neemt ook een bepaalde tijd in beslag. Dit verloopt echter vaak veel sneller dan het coderen. Deze tijd hangt af van de gebruikte codec. In appendix 8.1 is een overzicht te vinden van de meest gebruikte codecs.

Na het decoderen wordt het digitale signaal weer omgezet in een analogoog signaal zodat het door een luidspreker kan worden weergegeven.

3.4. Skype

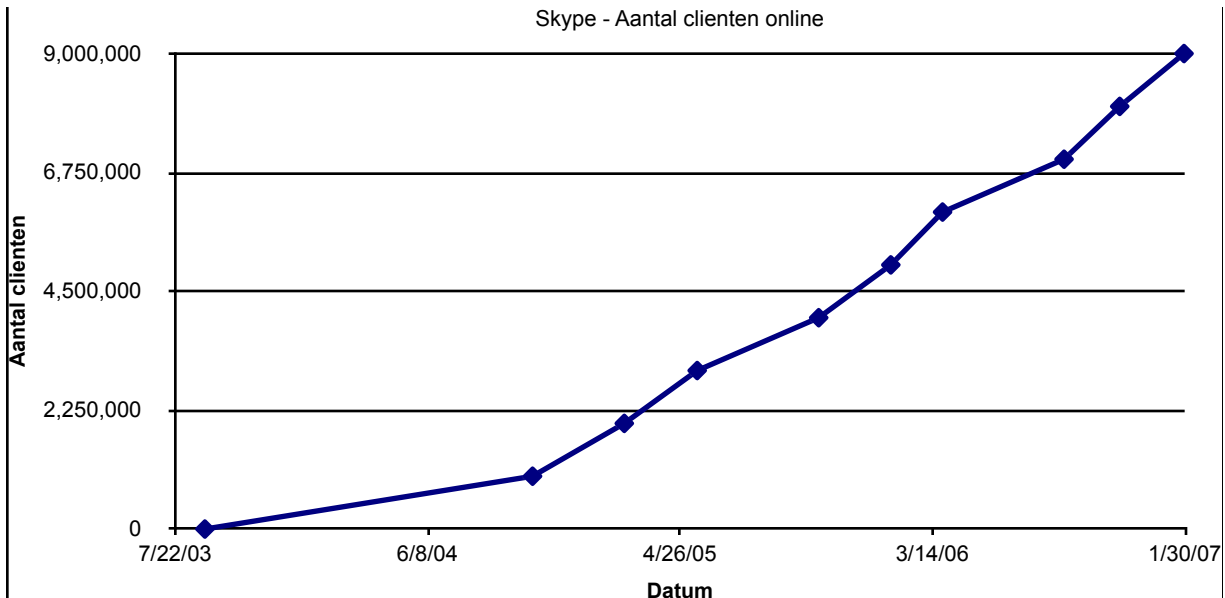
Skype werkt via een gesloten protocol. Het maakt gebruik van de zogeheten *peer-to-peer (P2P)* manier van versturen van data. Hierbij wordt er een decentraal netwerk opgezet tussen de verschillende verbonden cliënten. Er is in een dergelijk netwerk geen krachtig serverpark nodig om de diensten aan te bieden, omdat de capaciteit van het netwerk groeit naarmate het netwerk zich uitbreidt.

3.4.1. Succes

Skype is in het algemeen een groot succes. Hiervoor zijn enkele oorzaken aan te wijzen:

1. Het programma is gratis en er kan gratis tussen cliënten gebeld worden
2. Skype was het eerste VoIP programma dat bij consumenten bekend werd. Er was weinig tot geen concurrentie.
3. Het programma biedt een automatische oplossing voor cliënten die zich achter een firewall bevinden. Hiervoor is dus geen technische kennis vereist.
4. De kwaliteit is in het algemeen zeer goed (hier wordt in de volgende paragraaf nader op ingegaan)

Volgens de website van Skype is het programma rond maart 2007 500 miljoen keer gedownload. Het aantal Skype accounts is in april 2006 de 100 miljoen gepasseerd, een maatstaf die Skype graag gebruikt om het succes aan te duiden. Het belangrijkste cijfer is echter het aantal gebruikers dat tegelijk online is. Op 29 januari 2007 waren er voor het eerst 9 miljoen gebruikers tegelijk online⁶. Zie Grafiek 31.



Grafiek 31 – Online Skype cliënten. Bron: Skype

De schatting is dat Skype in 2006 4,4% van het aantal belminuten in de wereld voor haar rekening nam⁷, zie ook Figuur 11.

3.4.2. Werking

De werking van Skype vertoont ondanks de decentrale opzet gelijkenissen met de SIP architectuur. Ook hier is de opzet van een gesprek gescheiden van het gesprek zelf. Een Skype die verbinding zoekt met het netwerk logt in op een server van Skype zelf, waarna er een lijst met beschikbare supernodes naar de cliënt wordt gestuurd. De Skype cliënt legt contact met een supernode en tevens andere nodes en wordt hierdoor zelf een node in het netwerk. Zie Figuur 37.

Een node kan na verloop van tijd automatisch 'promoveren' tot een supernode. Dit gebeurt naar aanleiding van de hoeveelheid beschikbare rekenkracht en de beschikbare bandbreedte. De best presterende nodes worden hierdoor supernodes. De supernodes hebben een vergelijkbare functie als een SIP server. Ze worden gebruikt voor het opzetten van gesprekken en het zoeken van andere Skype cliënten. Het netwerk is dusdanig opgezet dat bij het zoeken van een andere Skype cliënt deze binnen n hops gevonden kan worden.

⁶ <http://skypenumerology.blogspot.com/>, de cijfers zijn afkomstig van Skype zelf.

⁷ http://www.telegeography.com/cu/article.php?article_id=15656&email=html.

Gesprekken zelf verlopen waar mogelijk point to point. In het geval van een firewall bij de bellers wordt een dichtbij zijnde supernode proxy voor het gesprek zelf. De supernode heeft hier zelf geen zeggenschap over. Dit is tevens ook een van de nadelen van Skype.

De servers van Skype zelf bestaan dus uit een register server en servers voor communicatie met het PSTN netwerk.

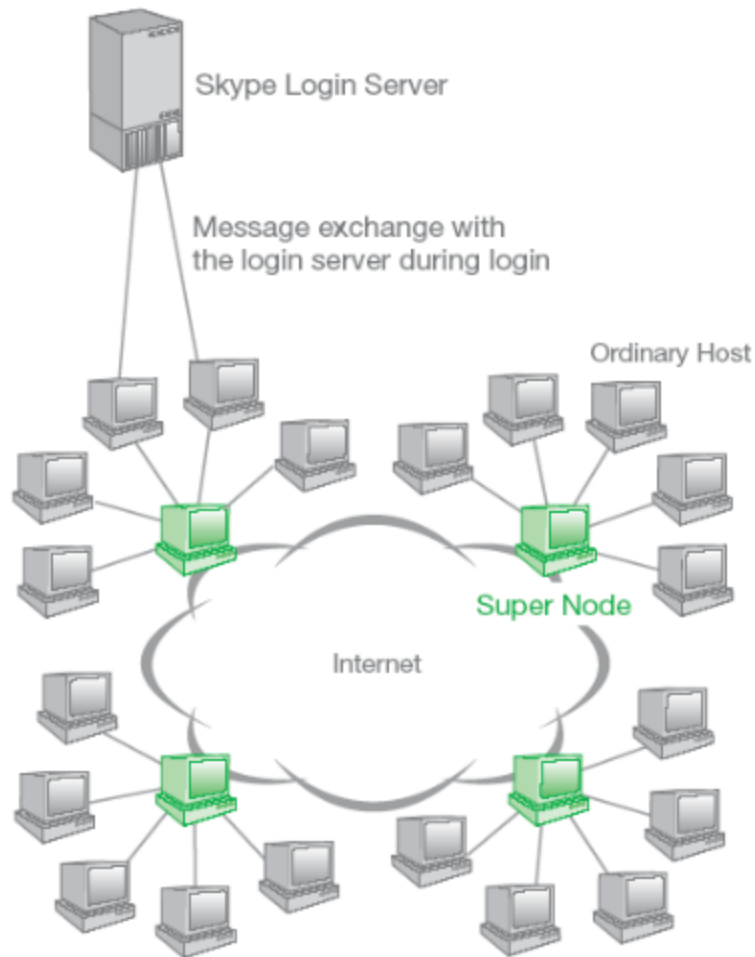


Figure 1 - Skype Network: Ordinary Hosts and Supernodes

Figuur 37 – Het Skype netwerk

3.4.3. Kwaliteit

Een veel genoemd punt door de gebruikers is dat de kwaliteit van de verbinding via Skype goed tot zeer goed is. Een belangrijke factor hierin is de gebruikte codec. Er wordt door Skype gebruik gemaakt van twee codecs, de open iLBC codec en de gesloten iSAC codec. Bij weinig bandbreedte en/of een slechte verbinding kiest Skype voor de iLBC codec die ook minder bandbreedte nodig heeft, maar wel een iets slechtere geluidskwaliteit levert. Is er echter genoeg bandbreedte beschikbaar dan wordt er gekozen voor de superieure iSAC codec.

Een tweede reden waarom de kwaliteit van Skype goed te noemen is komt door de opzet van het netwerk. Doordat het netwerk de supernodes op basis van prestaties kiest is de resulterende kwaliteit vaak goed.

3.4.4. Controversieel

Skype encrypteert eerst alle verkeer alvorens het over het netwerk wordt gestuurd. Andere nodes in het netwerk kunnen dan het gesprek ook niet afluisteren. Toch zijn er de nodige vraagtekens bij de werking van Skype geplaatst door diverse critici. Een belangrijk punt is dat er niet in het programma is in te stellen hoeveel dataverkeer de client mag gebruiken. Dit is met name relevant als het programma als supernode fungeert. Hierdoor is Skype door diverse universiteiten geblokkeerd. Maar de hoofdoorzaak is dat het onduidelijk is hoe het programma werkt en ook veel anti-debugging technieken bevat. Dit bemoeilijkt onderzoek naar hoe het programma precies werkt. Na een analyse van de werkwijze en veiligheid van Skype⁸ blijft er als belangrijkste bezwaar overeind dat Skype alles op het netwerk kan decoderen en dus aftappen.

Een heel ander bezwaar van Skype is de combinatie van bekendheid en interoperabiliteit met andere protocollen. Bij het gebruik van het SIP protocol is het veel eenvoudiger om verschillende providers met elkaar te verbinden. Dit geldt zelfs voor H.323 en SIP omdat er intern dezelfde codecs gebruikt kunnen worden. Voor Skype geldt dit echter niet omdat het protocol gesloten is en de codec niet openbaar is. Een groot marktaandeel van Skype zal leiden tot hogere prijzen doordat er voor gesprekken van en naar Skype (extra) betaald zal moeten worden.

Er is overigens wel een commercieel pakket genaamd 'Skype2Sip' dat het mogelijk maakt om Skype gesprekken te converteren naar SIP gesprekken en vice versa. De werking is gebaseerd op het opzetten van een SIP gesprek waar dan de spraak data van het Skype gesprek aan wordt gekoppeld. In totaal zal de totale vertraging dus vrij hoog zijn.

Een laatste punt is dat Skype weliswaar de naam heeft goedkoop te zijn, maar in werkelijkheid relatief hoge tarieven hanteert voor het bellen naar de bestaande PSTN netwerken (Skype-out). Veel concurrenten adverteren dan ook met prijsvergelijkingen tussen zichzelf en Skype.

3.5. Aanvullende technieken

Door middel van extra technieken is de kwaliteit van het gesprek te verbeteren. Echo cancellation is in de praktijk zelfs een vereiste voor een acceptabel gesprek over langere afstanden. Alle technieken kosten rekenkracht, wat de kosten van randapparatuur en vaak ook de stroomkosten doet toenemen.

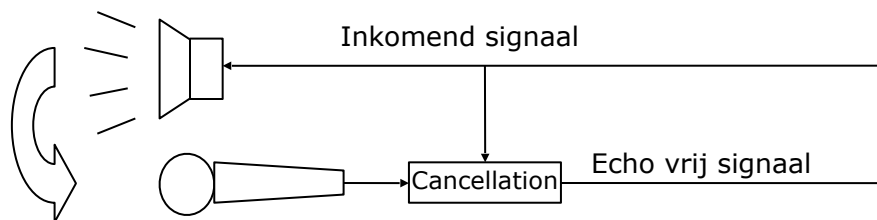
3.5.1. Echo cancellation

⁸ <http://www.blackhat.com/presentations/bh-europe-06/bh-eu-06-biondi/bh-eu-06-biondi-up.pdf>.

Doordat de totale vertraging bij VoIP telefonie hoger ligt dan bij traditionele telefonie treedt er het probleem van echo vorming op. Bij traditionele telefonie is de vertraging namelijk lager en neemt het menselijk oor geen echo waar. Bij een totale vertraging van meer dan 50 ms is echo hinderlijk en is er echo cancellation nodig, een techniek die de echo wegfilt. Er zijn twee vormen van echo:

1. *Talker echo*, hierbij hoort degene die spreekt zijn eigen stem enige tijd later nog eens. Dit komt doordat het stemgeluid van A naar B wordt gezonden en bij B weer door de hoorn wordt opgevangen en teruggezonden.
2. *Listener echo*, hierbij hoort de luisteraar tweemaal achter elkaar de spreker. Hier zijn twee reflecties in het spel, de spraak van A wordt naar B gestuurd waar de luisteraar de eerste keer A hoort spreken. Vervolgens vangt de hoorn van B dit geluid op en stuurt het weer naar A. A hoort nu de talker echo, en het geluid wordt weer opgevangen door de hoorn van A zodat B alles nu voor de tweede maal hoort. Dit kan ook worden veroorzaakt doordat het geluid van A tweemaal wordt opgevangen door de microfoon, bijvoorbeeld via een reflectie van het geluid via een muur.

Echo cancellation werkt via een adaptief proces. De vertraging die de echo heeft verschilt namelijk per gesprek en per moment. Het wordt met name gebruikt bij de opname van het geluid, hierbij is er een slechts korte vertraging ten opzicht van het zojuist weergegeven geluid door de luidspreker. Er wordt voortdurend gecontroleerd of in het net opgenomen signaal een iets verzwakte versie bevat van het zojuist ontvangen signaal. Dit wordt vervolgens uit het opnamesignaal gefilterd zodat het uiteindelijk opgenomen signaal bij benadering echo vrij is.



Figuur 38 – Echo cancellation

3.5.2. Error concealment

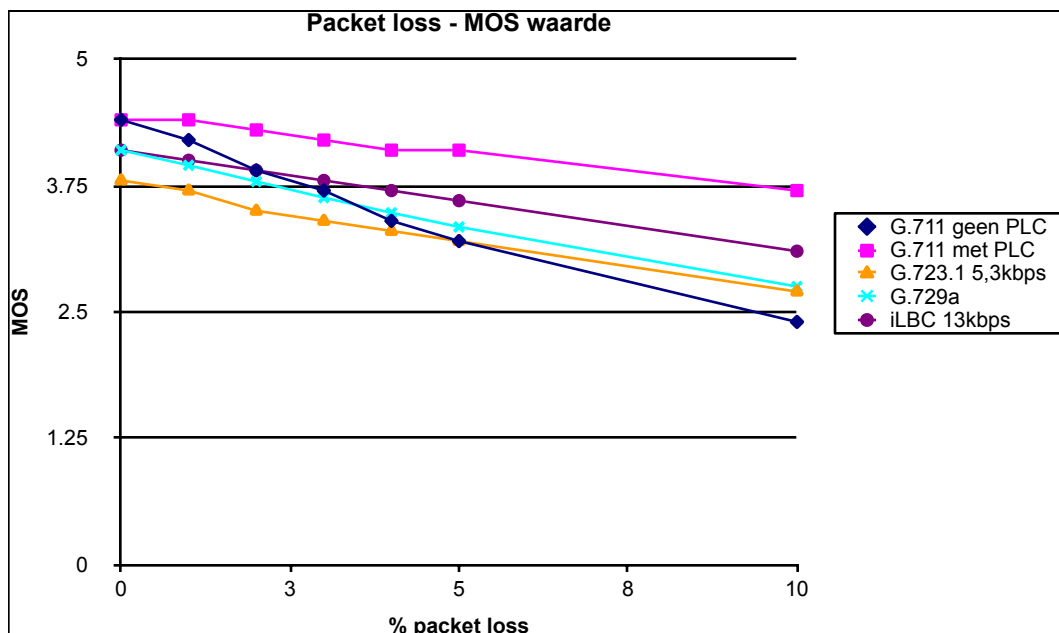
Indien tijdens het gesprek een pakket te laat aankomt of niet aankomt ontbreekt er voor de codec informatie. Als de codec hier gewoon het geluid zou decoderen ontstaat er vaak een vervelend klik- of kraakgeluid. Hierdoor merkt de gebruiker duidelijk dat er iets mis is gegaan en zal het gesprek als minder aangenaam ervaren. Het is goed mogelijk hierop in te spelen zodat de fout veel minder snel opgemerkt wordt. Dit wordt *error concealment* genoemd, het verbergen van fouten. Er zijn

diverse opties voor error concealment, hieronder zijn enkele genoemd. Voor alle varianten geldt dat het klikgeluid wordt ondervangen.

1. De ontbrekende tijd vullen met stilte.
2. Tijdens de onderbreking de vorige sample(s) herhalen. In de praktijk blijkt deze aanpak vrij goed te werken.
3. Voor het ontbrekende moment een voorspelling gebruiken van de vorige samples.

Ook is een combinatie mogelijk, en zelfs dynamisch zodat voor verschillende situaties steeds de minst opvallende manier wordt gekozen.

Tabel 36 - Invloed van packet loss op de MOS waarde



In bovenstaande grafiek is de invloed van packet loss op de MOS waarde te zien. Een hogere MOS waarde betekent een betere waardering door de gebruiker (zie paragraaf 4.1 voor details). Hierin is vooral het verschil tussen G.711 zonder packet loss concealment en met duidelijk zichtbaar. Waar er bij 10% packet loss zonder concealment een slechte MOS waarde van 2,4 behaald wordt resteert er met PLC nog een zeer acceptabele MOS waarde van 3,7.

De iLBC codec presteert bij veel packet loss nog vrij goed omdat deze codec ieder frame apart codeert en geen gebruik maakt van een voorspelling van andere packets. G.729 heeft PLC standaard in de codec.

3.5.3. Perceptual enhancement

Het is mogelijk bij sommige codecs gebruik te maken een techniek die door de codec geïntroduceerde vervormingen kan reduceren. Om dit te bereiken wordt wat ruis aan het signaal toegevoegd. Wiskundig gezien is het gedecodeerde signaal dat direct uit de codec komt een betere benadering van het origineel dan na het toevoegen van de

ruis. De perceptie voor de gebruiker is echter beter, omdat deze vervormingen als storender ervaart dan ruis.

3.5.4. Silence suppression

Silence suppression is een techniek die bandbreedte kan besparen. Bij deze techniek verbetert de geluidskwaliteit in principe niet. Vaak is in een gesprek de helft stilte, omdat de ene persoon naar de andere luistert en ondertussen zelf niet spreekt. Bij silence suppression worden de stille momenten gedetecteerd en wordt er op dat moment voor de luisteraar een veel lagere geluidskwaliteit gebruikt. Om te voorkomen dat de beller denkt dat de lijn 'dood' is kan er aan de kant van de ontvanger ruis worden gegenereerd zodat het lijkt of dit verstuurd is. Deze ruis wordt ook wel *comfort noise* genoemd. Het RTP protocol biedt hiervoor een mogelijkheid. Silence suppression wordt ook wel *voice activity detection* (VAD) genoemd.

3.5.5. RTP header compression

Zoals beschreven in paragraaf 3.3.2.3 is de complete grootte van een header van een VoIP packet 40 bytes. Ten opzichte van veel codecs is dit een relatief grote overhead. Met name voor codecs als G.729 en G.723.1 is er meer dan twee keer zoveel overhead dan dat er data verstuurd wordt. Om dit gedeeltelijk te ondervangen is het mogelijk om de header te comprimeren. Dit is beschreven in RFC 2508⁹. Er zijn twee varianten mogelijk:

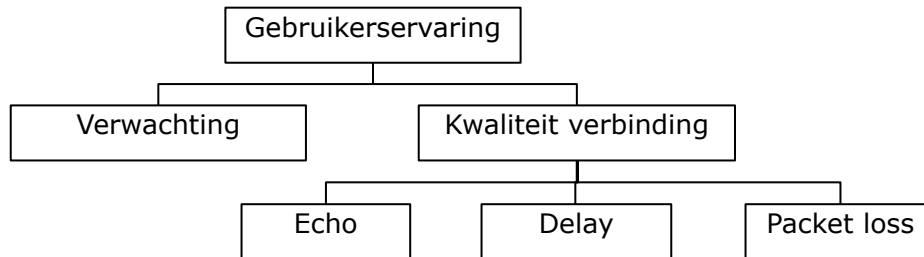
1. RTP header compression (ook wel cRTP genoemd). Dit is mogelijk van eindpunt tot eindpunt. Hierbij is de winst niet zo groot, aangezien slecht de RTP header van 12 bytes naar ongeveer 2 wordt gecomprimeerd. Er wordt eerst een niet gecomprimeerde header gestuurd, waarna steeds gebruik gemaakt kan worden van de kennis van de niet gecomprimeerde header en de verwachting dat veel RTP velden slechts met 1 opgehoogd worden. In feite volstaat een dus een bevestiging van de verwachting.
2. Compressie van de volledige VoIP header. Dit is alleen mogelijk tussen twee direct verbonden apparaten, aangezien voor verder transport de IP header bekend moet zijn en dus gedecomprimeerd moet worden. Vanwege deze beperking is dit met name bedoeld voor zeer trage verbindingen, bijvoorbeeld zgn. inbelmodems met een snelheid van 14,4 of 28,8 Kbit/s. De header wordt dan gecomprimeerd tot ongeveer twee bytes (zonder checksum) of 4 bytes (inclusief checksum) in plaats van de originele 40. Ook hier wordt aanvankelijk een niet gecomprimeerde header verstuurd, waarna gebruik kan worden gemaakt van verwachte veranderingen en de bekende complete header.

De belangrijkste reden van header compressie is de besparing op de hoeveelheid data die verstuurd wordt. Dit is vooral van belang bij trage verbindingen. Een tweede voordeel is dat hierdoor ook de packet sneller verzonden kunnen worden.

⁹ RFC 2805, Februari 1999, <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2508.html>.

4. Modellen voor de perceptie van de gebruiker

De kwaliteit van de verbinding zoals die door de gebruiker wordt ervaren is subjectief. Deze bestaat uit een verwachting en de daadwerkelijke kwaliteit van de verbinding. De kwaliteit van de verbinding is afhankelijk van met name echo, delay en packet loss. Dit zijn namelijk de factoren die niet direct beïnvloedbaar zijn. Overige factoren als de kwaliteit van de gebruikte codec zijn daarentegen vrij te kiezen. De relatie is in Figuur 41 weergegeven.



Figuur 41 – Relatie van de subjectieve gebruikerservaring en de meetbare kwaliteit van de verbinding.

Om de uiteindelijke gebruikerservaring te kunnen classificeren is het *Mean Opinion Score* (MOS) model ontwikkeld. Dit wordt in paragraaf 4.1 behandeld. Om een goede vertaling te kunnen maken van deze subjectieve ervaring naar meetbare eigenschappen van de verbinding is er het E-model. Zie hiervoor paragraaf 4.2.

Vervolgens wordt er verder ingegaan op de kwaliteit van de verbinding. Echo is reeds behandeld in paragraaf 3.5.1. In paragraaf 4.3 wordt delay besproken. Packet loss is in paragraaf 3.5.3 reeds genoemd.

4.1. MOS model

De meest gebruikte bij VoIP toepassingen is de *Mean Opinion Score* (MOS). De MOS-waarde is een maatstaf voor de kwaliteit van de verbinding, dat varieert van 1 tot 4,5 zoals weergegeven in onderstaande tabel.

| MOS-waarde | Kwaliteit | Ervaring van de klant |
|------------|------------|----------------------------|
| 4,5 | Perfect | Niet merkbaar |
| 4 | Goed | Wel merkbaar, niet storend |
| 3 | Acceptabel | Enigszins storend |
| 2 | Matig | Vervelend |
| 1 | Slecht | Zeer vervelend |

Tabel 41 – MOS score.

4.2. E-model

Het nadeel van het MOS model is dat het uitgaat van subjectieve ervaringen van de gebruiker. Hierdoor is het moeilijk een directe invloed van diverse factoren op de kwaliteit te ontdekken. Ook is het onhandig om steeds met behulp van een testpanel te meten. Het E-model is ontwikkeld om dit grotendeels te ondervangen en gaat uit van een aantal meetbare eigenschappen in combinatie met de verwachte kwaliteit van de verbinding. Het model ziet er als volgt uit:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

Waarbij

- R = Kwaliteit van de verbinding
- R_0 = Signaal / ruis verhouding (Signal-to-noise ratio)
- I_s = Gebreken die gelijktijdig met spraak optreden (speech)
- I_d = Gebreken die niet gelijktijdig met spraak optreden, zoals echo (delayed)
- I_e = Gebreken vanwege de apparatuur (equipment)
- A = De verwachte kwaliteit van de verbinding.

I_e wordt met name gebruikt om de invloed van VoIP in de gebruikerservaring op te nemen.

De verwachte kwaliteit van de verbinding (A) is een parameter die een bereik heeft van 0 tot 20. Bij een verwachte mindere kwaliteit zal de gebruiker de verbinding namelijk eerder acceptabel vinden. In Tabel 42 is een overzicht weergegeven voor enkele situaties.

| | |
|----------------------|----|
| Communicatie systeem | A |
| Standaard telefoon | 0 |
| GSM in gebouw | 5 |
| GSM in auto | 10 |
| Afgelegen locatie | 20 |

Tabel 42 – Verwachte kwaliteit van de verbinding en de A waarde in het E-model.

Er bestaat ook een uitgebreid E-model met meerdere parameters.

MOS en E-model

Aangezien zowel de MOS waarde als het E-model hetzelfde doel hebben is het mogelijk een vergelijkingstabel te maken waar beide waarden aan elkaar gekoppeld worden.

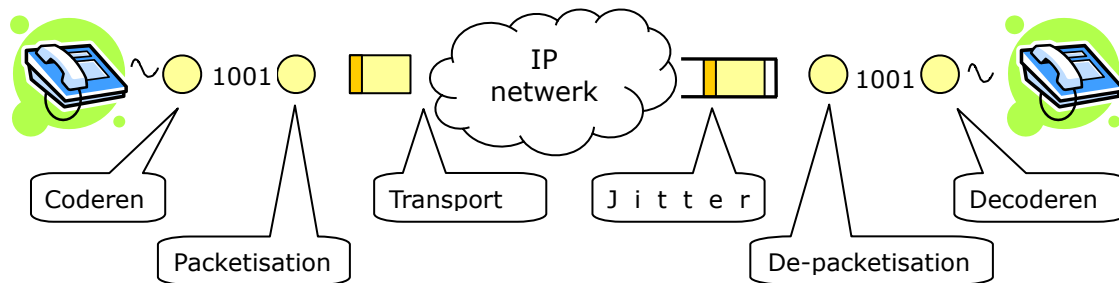
| MOS-waarde | E-waarde | Kwaliteit |
|------------|----------|------------|
| 4,5 | 90-100 | Perfect |
| 4 | 80-90 | Goed |
| 3 | 70-80 | Acceptabel |

| | | |
|---|-------|--------|
| 2 | 60-70 | Matig |
| 1 | 0-60 | Slecht |

Tabel 43 – MOS- en E-waarde naast elkaar.

4.3. Vertraging (Delay)

De totale vertraging (*delay*) die kan worden gemeten bij VoIP toepassingen kan worden opgesplitst naar de verschillende stappen die worden doorlopen. Iedere bewerkingsstap introduceert een bepaalde vertraging. Daarbij komt de tijd die het kost om de data daadwerkelijk te versturen. De-packetisation introduceert nauwelijks extra vertragingen.



Figuur 42 – Stappen bij VoIP

In formulevorm kan dit geschreven worden als

$$T_{\text{delay}} = T_{\text{coderen \& decoderen}} + T_{\text{packetization}} + T_{\text{transport}} + T_{\text{jitter}}$$

4.3.1.1. Coderen / decoderen

De vertraging die optreedt bij de coderingsstap is afhankelijk van de gebruikte codec. De vertraging bij het coderen is in het algemeen veel langer dan bij het decoderen.

4.3.1.2. Packetization

De volgende vertraging die optreedt is bij de packetization stap. De vertraging is afhankelijk van de packet grootte en de gebruikte codec. Er wordt een bepaalde tijdsduur gekozen die per packet wordt verstuurd. In de praktijk is dit vaak 10, 15, 20 of 30 ms per packet. Afhankelijk van de gebruikte codec kan dan de hoeveelheid data worden berekend die per packet verstuurd wordt. Voor bijvoorbeeld de G.711

codec die een datastroom van 64 Kbit/s genereert levert dat $64.000 / (1000 \text{ ms} / 20 \text{ ms}) = 1280$ Kbit per packet = 160 bytes per packet. De header van het IP packet is 40 bytes, hierachter wordt de data van de codec geplakt, zodat de totale grootte van het packet 200 bytes is.

4.3.1.3.Transport

De vertraging die door het transport wordt veroorzaakt bestaat uit drie delen:

$$T_{\text{Transport}} = T_{\text{Serialisatie}} + T_{\text{Propagation}} + T_{\text{Wachttijd}}$$

$T_{\text{Serialisatie}}$ is de tijdsduur van het versturen van een packet door een verbinding die een bepaalde snelheid heeft. $T_{\text{Serialisatie}} = 8 * \text{PacketGrootte} / \text{VerbindingsSnelheid}$. Hierbij is de snelheid van de verbinding in bits per seconde en de packet grootte in bytes. Stel dat het te versturen packet 200 bytes is en de verbinding 1 Mbit/s, dan is $T_{\text{Serialisatie}} = 8 * 200 \text{ bytes} / 1.000.000 \text{ bits/s} = 1,6 \text{ ms}$.

De factor $T_{\text{Propagation}}$ staat voor de snelheid waarmee informatie kan worden getransporteerd. Een veel gebruikte benadering voor deze snelheid is 2/3 van de lichtsnelheid. Dit geldt zowel voor de meeste koperverbindingen als glasvezelverbindingen. Voor kleine afstanden is deze vertraging te verwaarlozen ten opzichte van de overige vertragingen. Deze vertraging bedraagt 5µs per Km.

$T_{\text{Wachttijd}}$ staat voor de tijd die een packet tijdens het transport moet wachten. Zoals in paragraaf 3.3.2.1 is vermeld kunnen packets ieder een andere route volgen. Ook heeft overig verkeer op het netwerk invloed op de wachttijden. Daardoor is de wachttijd stochastisch.

Een goede oplossing hiervoor is het gebruiken van Quality of Service (QoS) technieken, zoals onder andere de priority queue uit paragraaf 3.3.3.2. Helaas is een dergelijke functie in weinig routers op internet geïmplementeerd dan wel ingeschakeld. Het heeft pas zin om QoS te gebruiken als alle apparaten in de verbinding er gebruik van maken. Op beperkte schaal werkt QoS ook, maar minder effectief. Zo heeft bijvoorbeeld in de meeste ADSL- en kabelmodems met VoIP functionaliteit de VoIP data voorrang op het overige verkeer. Dit scheelt al veel als de gebruiker naast het gesprek ook aan het downloaden is.

4.3.1.4.Jitter buffer

Doordat niet alle packets tegelijk aan hoeven te komen bij de ontvanger is het noodzakelijk een buffer in te bouwen die dergelijke variaties kan opvangen. Zonder een jitter buffer treedt er bij een vertraging van 1 ms al een onderbreking bij het decoderen op. Deze buffer dient echter ook niet te groot te zijn, omdat er dan onnodig extra vertraging in het gesprek is.

Jitter kan optreden door veel verschillende oorzaken¹⁰. Enkele zijn:

- Bij een USB telefoon waar de computer het rekenwerk doet kan de processor bezig zijn met andere taken. Het coderen van de spraakdata kan dan een vertraging oplopen.

¹⁰ Voiptroubleshooter, <http://www.voiptroubleshooter.com/indepth/jittersources.html>.

- In ethernet netwerken wordt bij een collision een bepaalde random tijd gewacht voordat er opnieuw data wordt gezonden. Voor 100 Mbit/s netwerken valt dit wel mee (1 ms), bij 10 Mbit/s netwerken is dit van grotere invloed.
- Packets kunnen verschillende routes volgen.
- Routers bevatten een wachtrij waar een packet vertraging oploopt. Dit is de belangrijkste oorzaak van jitter.
- Routers vernieuwen van tijd tot tijd de routing tabel waarin staat welke weg een packet het beste kan volgen. Op dat moment kunnen packets zeer grote vertragingen oplopen. In de praktijk zal dit vaak leiden tot enkele verloren packets.

Een jitter buffer kan zowel constant zijn als variabel. Een standaardwaarde voor een constante jitter buffer is 30 tot 50 ms. Een variabele buffer past de deze waarde aan naar gelang de omstandigheden op dat moment. Als er een packet te laat aankomt zal de buffer langer worden en als er een tijd geen packet loss optreedt zal de buffer weer korter worden.

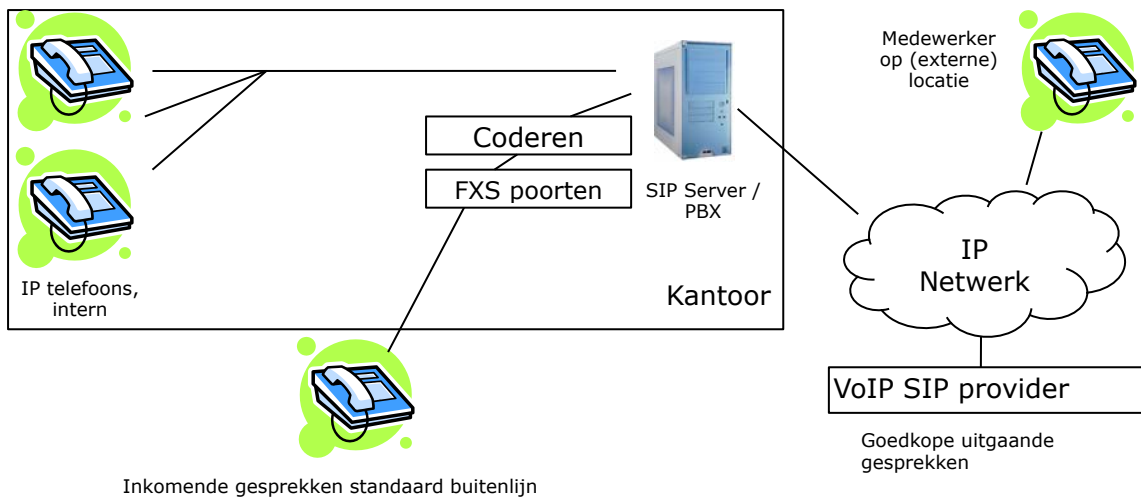
5. Performancemodel van een SIP server

Waar voor particulieren het relatief eenvoudig is om een VoIP aansluiting te realiseren, heeft dit voor bedrijven meer voeten in de aarde. Een groot voordeel van VoIP toepassingen is dat het naast een bestaande telefooncentrale kan werken en het dus niet noodzakelijk is om van het ene op het andere moment alles te vernieuwen.

Het belangrijkste onderdeel in een bedrijfsoplossing is een SIP server. Een SIP server is in deze context een server die één of meerdere SIP server taken afhandelt. Zie voor deze taken paragraaf 3.1.2. In principe functioneert een dergelijke server dan als telefooncentrale. Zo kunnen interne gesprekken net als bij een gewone telefooncentrale zonder kosten afgehandeld worden en de overige gesprekken doorgeschakeld worden naar een internet SIP provider.

Er zijn eenvoudige softwarematige SIP servers en meer uitgebreide typen die als complete vervanger van een *private branch exchange* (PBX, telefooncentrale) kunnen functioneren. Enkele voorbeelden hiervan zijn SER, OpenSER, Asterisk, OpenPBX en SipX. Dergelijke pakketten zijn dermate uitgebreid dat het geen *plug en play* betreft. Het voordeel hiervan boven een traditionele telefooncentrale is echter dat je niet gebonden bent aan één merk of leverancier voor onderdelen, onderhoud en/of uitbreiding.

Een koppeling tussen de bestaande centrale vereist echter wel een investering. het is dan namelijk nodig om de SIP server te voorzien van kaarten waarop PSTN telefoons aangesloten kunnen worden (*Foreign eXchange Station, FXS*). Deze zijn vrij prijzig. Daar komt bij dat de analoge spraak omgezet dient te worden in een voor SIP geschikt formaat. Dat kost rekenkracht. Aangezien inkomende gesprekken daarna voornamelijk over het interne netwerk gaan is het mogelijk hier een codec die weinig rekenwerk vereist (bijvoorbeeld G.711) voor te nemen.



Figuur 51 - opzet voor een SIP server. De externe medewerker is gewoon onder zijn of haar normale nummer te bereiken.

Op een moderne computer met voldoende geheugen is een groot aantal SIP cliënten te bedienen. Een Pentium 4 3 GHz met 1 GB RAM geheugen kan met het programma OpenSER zo tussen de 10.000 en 50.000 cliënten aan. Dit hangt natuurlijk wel sterk af van hoeveel er daadwerkelijk bellen. Een cliënt die alleen maar registreert en verder niets doet kost nauwelijks performance.

5.1. SIP functies

Om een beter beeld te krijgen van de prestaties van een SIP server onder hoge belasting zijn een aantal praktijkexperimenten onvermijdelijk. De drie belangrijkste taken die SIP servers uitvoeren voor VoIP zijn de volgende, te weten:

1. Registreren, al dan niet met authenticatie
2. Proxy server (opzetten van gesprek)
3. Redirect

Tijdens een invite-verzoek aan een standaard proxy server kan deze om bij de cliënt aan de andere kan te komen ook andere proxy servers aanspreken. Op deze manier kan een berichtenstroom dus door een aantal proxyservers gaan voordat het doel bereikt wordt. Dit is niet erg efficiënt en daar kan een redirect server bij helpen. Deze kan wel een ander adres terugmelden aan de cliënt of aan de proxy server die het verzoek initieerde maar wordt daarna niet meer in de berichtenstroom meegenomen. Op deze manier hoeft de proxy server minder werk te verrichten en wordt het aantal hops teruggedrongen.

5.2. Coderingssnelheid

Een heel ander verhaal wordt het voor PSTN gesprekken. Hiervoor dient de spraak omgezet te worden dmv een codec. Hier is vrij veel rekenkracht voor benodigd, uiteraard afhankelijk van de codec. De hierboven genoemde computer komt voor G.729 niet verder dan zo'n 80 - 90 gesprekken tegelijk. Bij grote aantallen gesprekken die getranscodeerd moeten worden is het daarom aan te raden of een codec te kiezen die minder rekenkracht vereist (zoals G.711) of om een hardwarematige oplossing hiervoor te zoeken. Dit kan door middel van DSP's (zoals de Digium TC400B) of VoIP gateways.

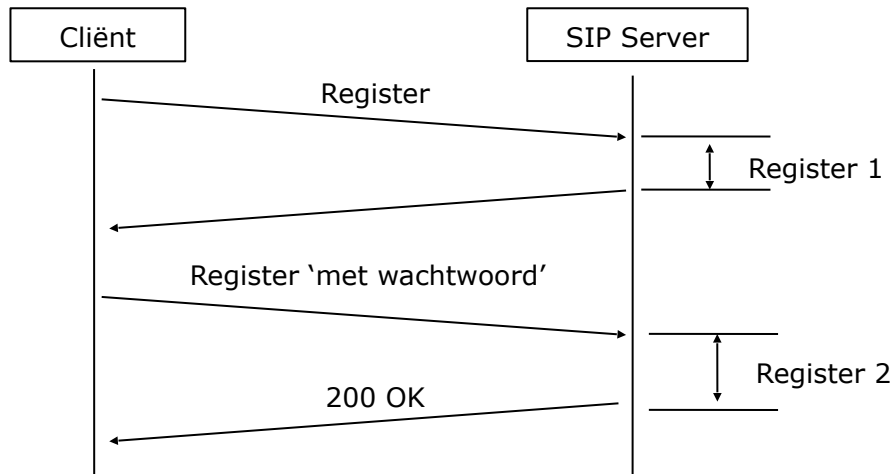
Om diezelfde reden is het handig om voor de interne telefoons hardwarematige telefoons aan te schaffen. De SIP server hoeft dan alleen maar de SIP taken uit te voeren.

5.3. Typen SIP berichten

Om een server te kunnen modelleren maken we onderscheid in verschillende SIP berichten die naar de server gestuurd kunnen worden. Deze zijn onderdeel van de drie functies die in paragraaf 5.1 genoemd zijn.

1. Registreren

Figuur 52 – Een SIP register verzoek

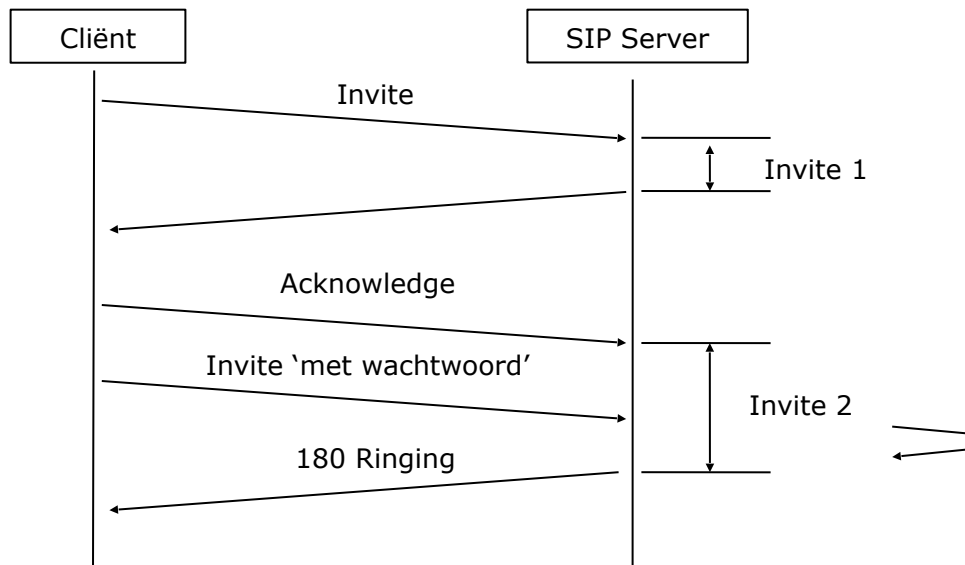


Hierboven is het verloop van een registratie bij een SIP server met authenticatie weergegeven. Bij registratie zonder authenticatie wordt na het sturen van het eerste Register verzoek direct 200 OK teruggemeld. Nu wordt er na het sturen van het verzoek echter een 407 (proxy authentication required) bericht van de server ontvangen. Vervolgens wordt er opnieuw een register bericht verstuurd met een naam en password erbij. Het antwoord is daarna 200 OK.

Proxy server

Figuur 53 – Een SIP Invite verzoek

Een invite verzoek doet de cliënt als deze iemand belt. De server zal eerst

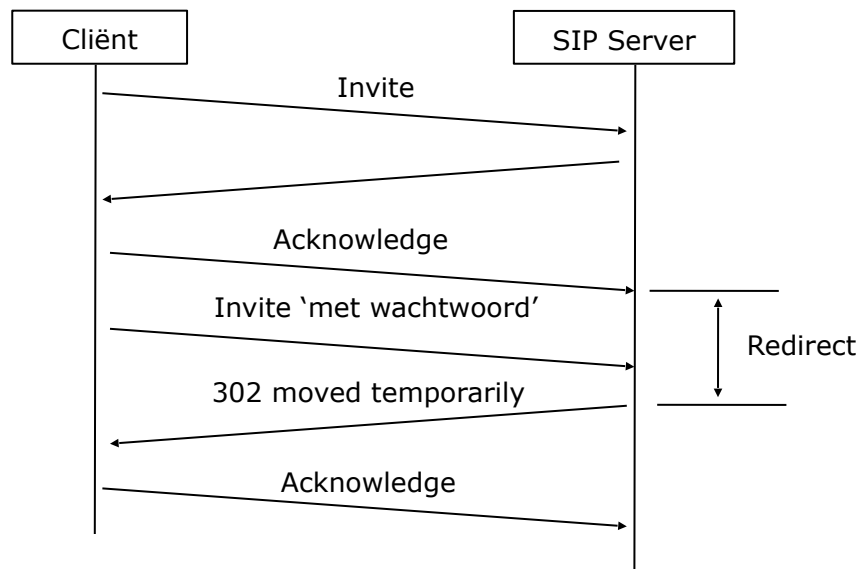


antwoorden met 407 (proxy authentication required). Vervolgens zendt de cliënt opnieuw het invite verzoek, ditmaal met naam en wachtwoord. De SIP server zal eerst de cliënt verifiëren en vervolgens opzoeken hoe het opgegeven adres bereikt kan worden. Vervolgens zal de server een SIP invite verzoek opstellen en dit aan de volgende SIP server (of indien mogelijk direct naar de te bellen SIP cliënt) sturen. De

tijd die het verzenden naar en ontvangen van de andere SIP server in beslag neemt wordt voor dit model op 0 gesteld. Dit is immers geen vertraging die door de te analyseren SIP server veroorzaakt wordt.

3. Redirection

Hier wordt de tijd gemeten tussen het sturen van invite totdat de server 301 (Moved Permanently) of 302 (Moved Temporarily) terugmeldt. Het proces is verder vergelijkbaar met een proxy server.



Figuur 54 – Een SIP Redirect antwoord op een invite verzoek

Het lijkt inefficiënt dat er bij iedere 'Invite' steeds een bericht naar de server wordt gestuurd die wordt beantwoord met 407, maar in werkelijkheid is dit al onderdeel van de authenticatie. De server stuurt dan namelijk een *challenge*, een tekenreeks. Zowel de cliënt als de server doen dan dezelfde operatie met de challenge en het wachtwoord. De cliënt stuurt alleen het resultaat hiervan naar de server, die dit vergelijkt met het zelf berekende resultaat. Zo wordt het wachtwoord zelf nooit verstuurd.

Hoewel er meer typen SIP berichten zijn dan hierboven is vermeld zijn deze berichten de belangrijkste. Bij de redirect antwoorden verwijst de proxy server bepaalde adressen naar een andere SIP server. De server weet in dit geval pas na het bekijken van het adres waar naartoe gebeld wordt of er een redirect bericht teruggestuurd dient te worden.

| SIP bericht | Complexiteit (rekentijd) | Percentage van totaal | Opmerking |
|-------------|--------------------------|-----------------------|--|
| Register 1 | 1 | 2% | |
| Register 2 | 6 | 2% | Wachtwoord controleren, cliënt in database vermelden |
| Invite 1 | 1 | 43% | |
| Invite 2 | 14 | 42% | Cliënt in database verifiëren met gegeven wachtwoord opzoeken van het opgegeven te bellen adres, opstellen van het bericht hiernaartoe. |
| Redirect | 10 | 11% | Cliënt in database verifiëren met gegeven wachtwoord opzoeken van het opgegeven te bellen adres terugmelden dat dit op een andere SIP server bereiken is |

Tabel 51 – Een aantal SIP berichten met een geschatte complexiteit

De complexiteit is geschat naar aanleiding van het artikel [2] waarin een praktijktest wordt uitgevoerd op een server. De daar geteste server (Intel Xeon 3 GHz) kan ongeveer of 1700 register verzoeken, of 700 invite verzoeken met authenticatie of 1000 redirect verzoeken per seconde verwerken. Een kanttekening hierbij is wel dat hier is gekeken naar de gehele berichtenstroom. Bovendien zijn de activiteiten na elkaar gemeten en niet tegelijkertijd. Een richtlijn voor het omrekenen van deze complexiteit naar rekentijd is door deze te stellen op 1 = 0,1 ms. De percentages van de verschillende berichten zijn willekeurig gekozen.

De gemiddelde verwerkingstijd van een bericht is dan 0,755 ms.

5.4. M|G|1 Model

Een vraag die opkomt bij het opzetten van een SIP server is hoe snel een dergelijke server dient te zijn. Om hier een idee van te krijgen is de meest voor de hand liggende methode om een onderzoek van server dimensionering te bekijken. Uiteraard is dit maar beperkt, aangezien alleen de geteste configuratie bekeken is. In de praktijk is er echter weinig (gratis) informatie beschikbaar over dimensionering. Een andere optie is om een model van de server te maken en aan de hand daarvan uitspraken te doen.

Een SIP server bevat een wachtrij voor inkomende berichten en heeft een beperkte verwerkingseenheid. De verwerking wordt gelimiteerd door de snelheid van de processor, het beschikbare geheugen en de eventuele beperking op de netwerk doorvoer. Deze aankomst en verwerking van berichten zie ik als een M|G|1 wachtrij. Als aanname voor de aankomst van berichten kies ik voor een Poisson proces, met intensiteit λ_i voor bericht van type i . Een eigenschap van het Poisson proces is dat de som van een aantal Poisson processen weer een Poisson proces is met intensiteit

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Ik ga ervan uit dat de verwerking alleen beperkt door de processor en het systeem dus over voldoende geheugen beschikt. De SIP server in dit model voert uitsluitend SIP taken uit en fungeert niet als proxy voor de RTP data van het gesprek zelf.

Neem B als de bedieningstijd. De bezettingsgraad van het systeem wordt gedefinieerd door $\rho = \lambda E(B)$. De load ρ kan variëren van 0 tot 1. Bij $\rho > 1$ is het systeem instabiel omdat er dan meer werk aangeboden wordt dan het systeem kan verwerken.

Al deze SIP berichten hebben een bepaalde tijd nodig om verwerkt te worden. Als aanname wordt deze verwerkingstijd constant genomen. B_i is de verwerkingstijd van bericht i . De standaardafwijking die hierbij hoort is dan eenvoudig uit te rekenen:

$$\sigma(B) = \sqrt{E(B^2) - E(B)^2} \quad \text{met} \quad E(B) = \sum_{i=1}^n P(i=I)B_i \quad \text{en} \quad E(B^2) = \sum_{i=1}^n P(i=I)(B_i^2)$$

We zijn vooral geïnteresseerd in de gemiddelde verblijftijd in het systeem, het gaat de cliënt immers om de tijd die verstrijkt totdat er een antwoord van de server terugkomt.

De gemiddelde totale tijd in het systeem voor een M|G|1 model is:

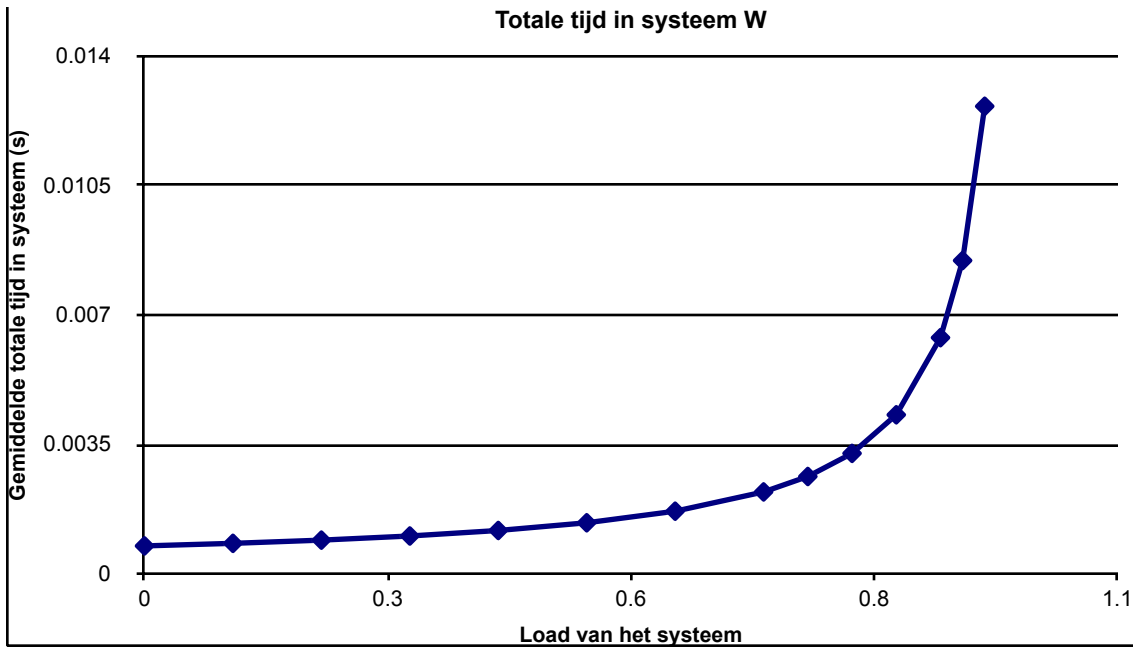
$$W = \frac{1}{2}(1 + c_B^2) \frac{\rho E(B)}{1 - \rho} + E(B) \quad \text{met } W \text{ de verwachte gemiddelde totale tijd en}$$

$$c_B = \frac{\sigma(B)}{E(B)}$$

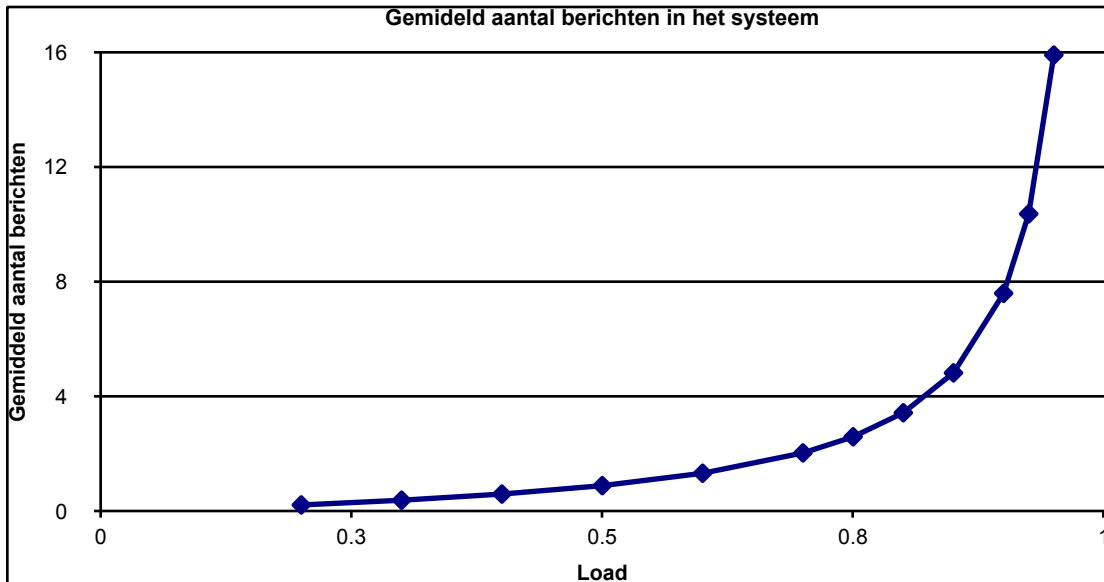
En het gemiddeld aantal berichten in het systeem is uit te rekenen aan de hand van de gemiddelde tijd in het systeem:

$$L = \lambda W$$

Met behulp van het model kunnen we een grafiek tekenen van de gemiddelde totale tijd in het systeem tegen de load van het systeem.



Grafiek 51 - Totale tijd in het systeem uitgezet tegen de load. Hier is goed te zien dat bij een systeem dat tegen overbelasting aanzit W enorm toeneemt.



Grafiek 52 - Gemiddeld aantal berichten in de wachtrij.

In deze grafieken is goed te zien dat een SIP server bijzonder slecht presteert als er teveel werk aankomt. Deze verandering in prestatie komt heel plotseling.

5.5. $M|G|1$ Model met prioriteiten

Een interessante vraag is wat er gebeurt als er voorrang gegeven wordt aan de berichten die vaker gebruikt worden. Dit geldt vooral voor het opzetten van een gesprek, wat vaker gebeurt dan register verzoeken. Het is immers ook niet handig om bij een server die erg veel te doen heeft nieuwe aanmeldingen toe te staan. De server krijgt het dan nog drukker, de nieuwe cliënten zullen na verloop van tijd immers ook gaan bellen of gebeld worden.

Om dit verschil te kunnen meten dient het model aangepast te worden. Voor de hand ligt het M/G/1 model met prioriteiten, waarbij taken die op dat moment uitgevoerd worden niet worden onderbroken (non-preemptive).

De berichten worden nu ingedeeld in klassen i , waarbij klasse i voorrang op klasse j heeft als $j > i$. De prioriteiten worden als volgt gesteld:

1. Invite 1 en 2
2. Redirect
3. Register 1 en 2

Zodat de server nieuwe register verzoeken zoveel mogelijk negeert als het druk is. In deze indeling heeft iedere klasse een eigen kansverdeling. Deze zijn op dezelfde wijze te berekenen als in paragraaf 5.4.

De aankomst van berichten wordt wederom gemodelleerd als een Poisson proces, met intensiteit λ_i voor bericht van klasse i .

Door de constante verwerkingstijd B_i is in klasse 2 een variantie van 0, omdat hier maar één type bericht is. Aangezien er nu ook op andere klassen gewacht moet worden wordt hiervoor een extra variabele gebruikt:

$$E(R_i) = \frac{E(B_i^2)}{2B(E_i)}$$

De totale tijd in het systeem voor klasse 1 is relatief eenvoudig af te leiden omdat deze klasse niet op andere klassen hoeft te wachten.

$$E(W_1) = \frac{\rho E(R)}{1 - \rho_1} + E(B_1) \quad \text{en} \quad E(L_1) = \frac{\lambda_1 \rho E(R)}{1 - \rho_1} + \rho_1$$

Voor klasse 2 en 3 geldt:

$$E(W_i) = \frac{\rho E(R)}{(1 - \sum_{j=1}^i \rho_j)(1 - \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j)} + E(B_i) \quad \text{voor } i = 2, 3$$

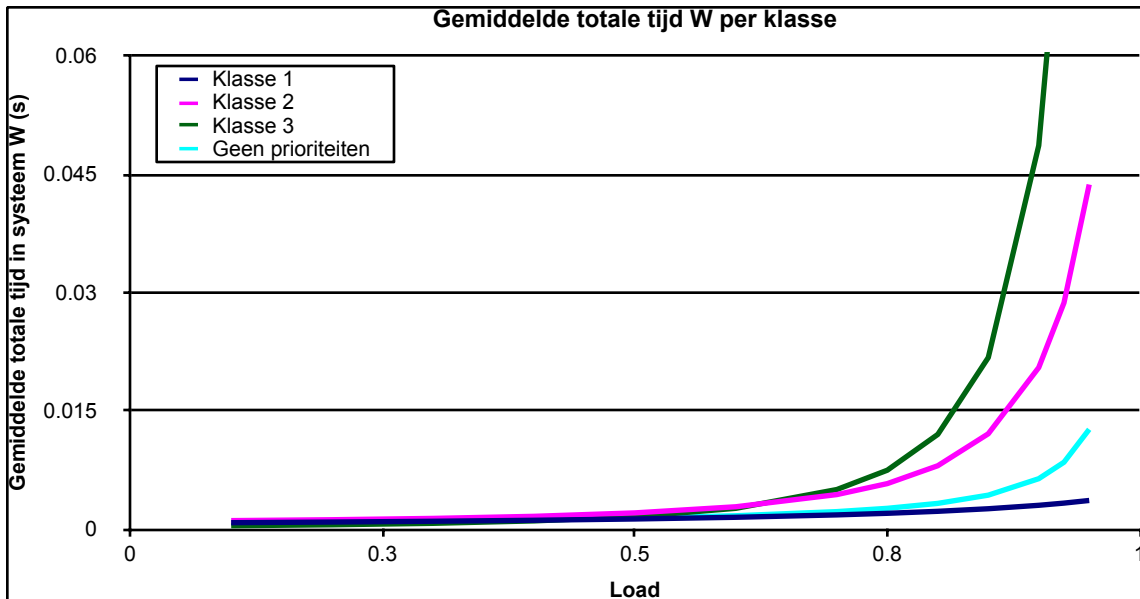
$$E(L_i) = \lambda_i E(W_i)$$

Dus

$$E(W_2) = \frac{\rho E(R)}{(1 - \rho_1 - \rho_2)(1 - \rho_1)} + E(B_2)$$

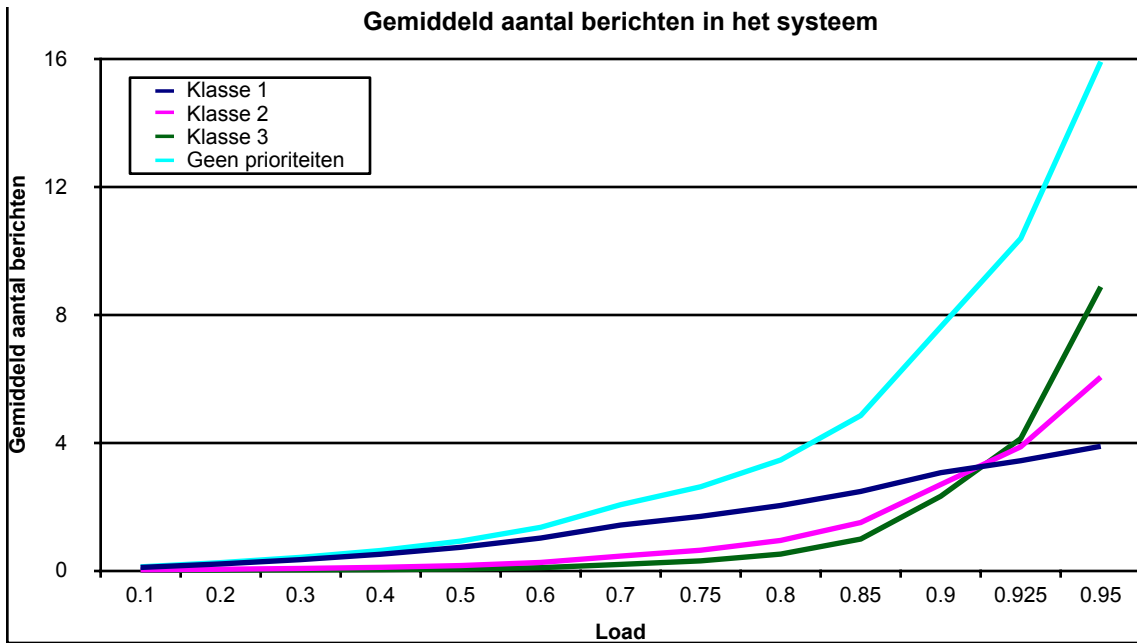
en

$$E(W_3) = \frac{\rho E(R)}{(1 - \rho_1 - \rho_2 - \rho_3)(1 - \rho_1 - \rho_2)} + E(B_3)$$



Grafiek 53 - Gemiddelde totale tijd in het systeem (W) per klasse met hierbij ter referentie de gemiddelde wachttijd van het M|G|1 model.

Zoals hierboven goed is te zien daalt de gemiddelde wachttijd aanzienlijk voor de berichten uit klasse 1 die voorrang krijgen ten opzichte van het model zonder prioriteiten. Bij een load van 0,95 is de gemiddelde wachttijd nog onder de 4 ms, terwijl bij het andere model de gemiddelde wachttijd dan bijna 13 ms is.



Grafiek 54 – Gemiddeld aantal berichten L in het systeem per klasse. Ter referentie is ook het M|G|1 model te zien. Het totale aantal berichten in het model met prioriteiten is de som van de klassen.

In Grafiek 54 is het aantal berichten in het systeem te zien. Een consequentie van de kortere wachttijden voor klasse 1 en klasse 2 is dat de wachtrijen langer zijn. Dit is in de tabel hieronder te zien. Naarmate het systeem het drukker krijgt neemt de wachtrij sneller toe ten opzichte van het M|G|1 model.

| Load | Gemiddeld aantal berichten | Meer ten opzichte van het G M 1 model |
|-------|----------------------------|---------------------------------------|
| 0,1 | 0,11 | 0% |
| 0,5 | 0,91 | 0% |
| 0,75 | 2,62 | 0% |
| 0,85 | 4,94 | 2% |
| 0,925 | 11,42 | 10% |
| 0,95 | 18,79 | 18% |

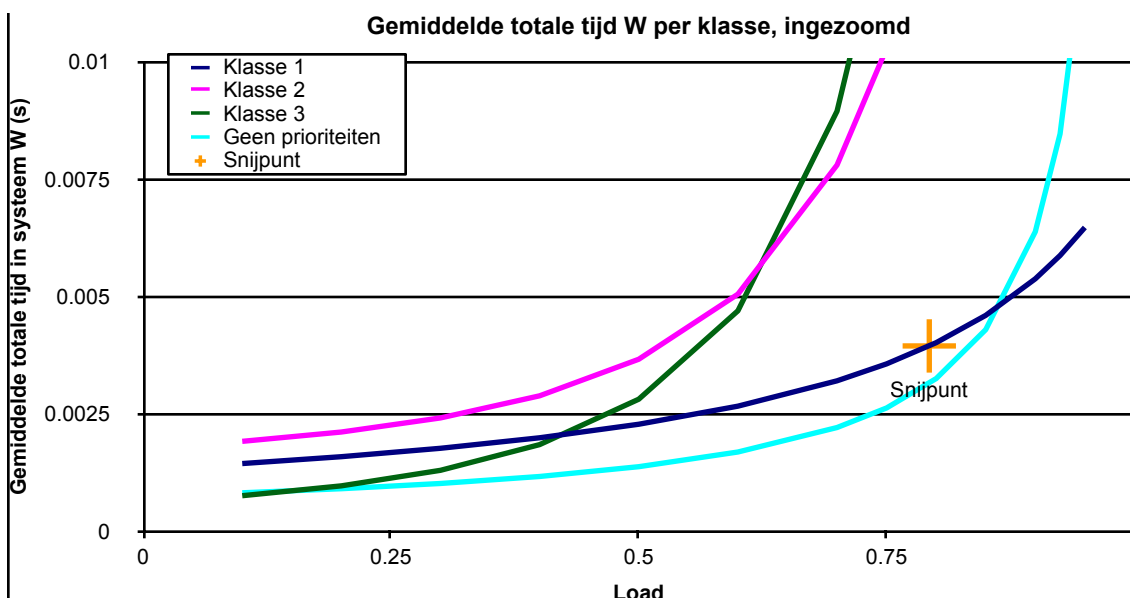
Tabel 52 – Gemiddeld aantal berichten in het systeem. Het gemiddeld aantal berichten is van het model met prioriteiten.

Het voordeel van prioriteiten leidt tot aanzienlijk betere performance voor de berichten die voorrang krijgen. De berichten die geen voorrang krijgen doen er uiteraard langer over en ook de wachtrij neemt toe als de load hoog is.

5.6. Voorbeeld

Uiteraard kan dit model ook gebruikt worden om te berekenen hoe snel een server dient te zijn om een bepaalde hoeveelheid gesprekken per seconde af te handelen. Hierbij kan een maximum worden gesteld aan de gemiddelde vertraging die de berichten mogen oplopen.

Stel dat de verdeling van de berichten hetzelfde is als in Tabel 51 en dat er 500 nieuwe gesprekken per seconde afgehandeld dienen te worden. De gemiddelde totale tijd in het systeem voor berichten van klasse 1 mag maximaal 4ms bedragen.



Grafiek 55 – Een voorbeeld van een server die 500 gesprekken van klasse 1 per seconde kan afhandelen. De load is dan 0,8.

In Grafiek 55 is de grafiek te zien van een server die aan de gestelde eisen voldoet. Er is uitgegaan van het voorbeeld van de 3 GHz Xeon processor en deze is vertraagd tot het moment dat de wachttijd gemiddeld 4 ms bedraagt. Doordat de server langzamer is, betekent dit ook dat de berichten langzamer verwerkt worden. Deze server is 0,56 maal de snelheid van de oude, wat betekent dat een 1,7 GHz processor van dezelfde architectuur deze taak aankan. De verwachte verwerkingstijd van een bericht van type Invite 2 is nu 2,5 ms ten opzichte van 1,4 ms op de oude snelheid.

6. Toekomstverwachtingen

6.1. Mobiel telefonieverkeer

Ook in de mobiele sector gaat de ontwikkeling snel. De nieuwste modellen zijn nagenoeg allemaal geschikt voor mobiel internet. Het hiervoor gebruikte GRPS protocol wordt nu door het snellere EDGE en nog snellere UMTS en HSDPA opgevolgd. UMTS en HSDPA bieden bovendien een lagere latency. Via een dergelijke verbinding is het ook mogelijk een VoIP verbinding op te zetten en op die manier te bellen met de hele wereld. De belkosten van de mobiele provider worden dan omzeild. Het succes van VoIP op een mobiele telefoon zal sterk afhangen van de prijs die voor het dataverkeer zal moeten worden betaald. Er zijn op dit moment al aanbieders die flat fee internet op een mobiele telefoon aanbieden.

Waarschijnlijk wordt deze toepassing van VoIP tegengewerkt door de providers, aangezien zij dan alleen nog maar aan het dataverkeer kunnen verdienen. In Duitsland heeft Vodafone momenteel al VoIP verkeer geblokkeerd voor smartphones.

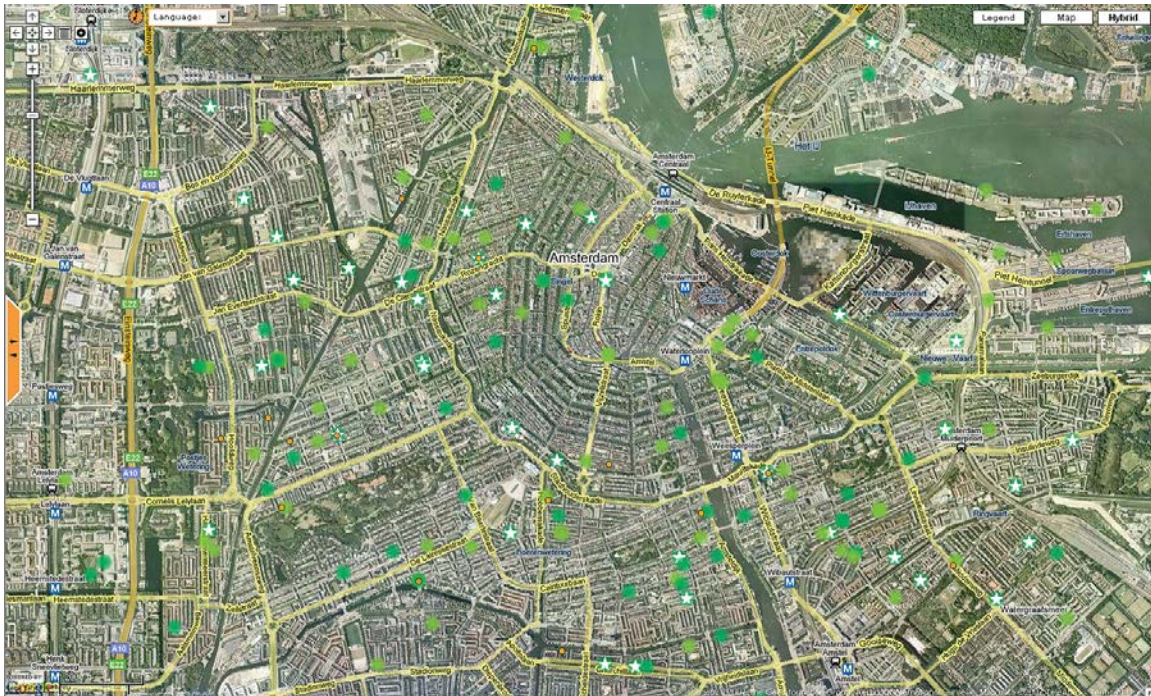
Het aantal mobiele telefoons dat een standaard besturingssysteem draait, waar de gebruiker zelf software aan kan toevoegen, neemt in aantal toe. Zo zijn er momenteel toestellen verkrijgbaar met Symbian OS of Windows mobile. Door deze ontwikkeling wordt de telefoon meer en meer een mobiele computer. De gebruiker heeft dan meer zeggenschap over wat er op de telefoon aan software staat en kan deze ook vernieuwen. Hierdoor is het waarschijnlijk dat de mobiele providers blokkades voor VoIP verkeer niet lang vol kunnen houden.

6.2. Mobiel VoIP via Wi-Fi en WiMax

Een andere interessante ontwikkeling is het gebruik van gratis internetverbindingen van consumenten. Zo biedt het bedrijf Fon¹¹ een Wi-Fi access point aan voor 30\$ of € 30 waarvoor je in ruil de internetverbinding van andere Fon gebruikers mag gebruiken. Er is hierbij geen vergoeding of abonnement nodig. Je dient natuurlijk wel je eigen internetverbinding te delen m.b.v. het access point. In grote steden is het aantal access points al aanzienlijk. Dit is goed te zien op de map op de Fon website, een screenshot hiervan is te zien in Figuur 61. Dit maakt het mogelijk met een telefoon die Wi-Fi ondersteunt goedkoop via VoIP providers te bellen en zo de mobiele telefonie providers te omzeilen.

Ook IEEE 802.16 netwerken (beter bekend als WiMax) bieden in de toekomst dergelijke toepassingen. De techniek is grotendeels vergelijkbaar met Wi-Fi, maar dan met een veel grotere reikwijdte. Het veel gehoorde cijfer van tientallen kilometers is echter alleen te behalen met een hoog zendvermogen dat niet voor particulieren is weggelegd.

¹¹ Fon, www.fon.com.



Figuur 61 – Satellietfoto van Amsterdam met in groen Fon gebruikers. De donkergroene stippen zijn het laatste uur actief geweest, de lichtgroene niet. De oranje stippen geven geregistreerde Fon gebruikers aan. De stippen met een ster zijn gebruikers die hun pagina een persoonlijk tintje hebben gegeven.

6.3. Video

Een volgende logische stap is videotelefonie. Hoewel er al diverse experimenten zijn geweest is het voornamelijk nog geen product dat aan veel consumenten wordt aangeboden. Dit komt omdat het aanzienlijk meer bandbreedte vereist dan alleen een gesprek en daardoor momenteel lastig te realiseren is. De verwachting is echter dat het niet heel lang zal duren voordat dit opgelost is.

6.4. Eén adres voor alle diensten

Bij het bellen naar een SIP account wordt er gebruik gemaakt van een SIP *address of record (AOR)*, dat is een aanduiding vergelijkbaar met een e-mail adres. Een voorbeeld van een SIP URI is *sip:piet@providerx.com*.

Bij het SIP protocol is het mogelijk om voor verschillende diensten hetzelfde adres te gebruiken. Deze diensten zijn onder andere telefonie, fax, *instant messaging (im)*, e-mail en vele andere. Ook bestaande telefoonnummers kunnen in dit systeem opgenomen worden zodat er een koppeling mogelijk is tussen het huidige PSTN netwerk en het VoIP netwerk. Het visitekaartje zoals dat nu bestaat zal in de toekomst slechts één adres bevatten waaronder de persoon bereikbaar is voor deze verschillende diensten.

7. Conclusie

Dat VoIP verder zal doorbreken lijkt onvermijdelijk. Het voordeel is overduidelijk: Aanzienlijk lagere gesprekskosten en in de nabije toekomst waarschijnlijk flat fee. Door de bestaande telecomaanbieders wordt dit scenario onderschreven, zo heeft KPN reeds aangegeven in 2010 het vaste netwerk uit te willen schakelen¹².

Er is voor een totale overgang naar VoIP echter nog een lange weg te gaan. De betrouwbaarheid van VoIP diensten zijn bij lange na nog niet zo als die van de huidige vaste lijn. Onlangs is KPN nog veel in het nieuws geweest over klanten die klagen over een VoIP product dat niet goed werkt¹³.

Ook zijn er nog technische bezwaren die het vervangen van het huidige netwerk in de weg staan. Zo is het bij veel VoIP diensten nog niet mogelijk naar alarmnummers te bellen. Voor VoIP telefonie is er altijd elektriciteit benodigd, in tegenstelling tot het traditionele netwerk dat zijn eigen stroomvoorziening heeft. Tenslotte is er nog het bezwaar dat het een stuk eenvoudiger is om een VoIP gesprek af te tappen dan wel te wijzigen. Alleen Skype maakt standaard gebruik van goede encryptie om dergelijke zaken te voorkomen.

Het is dus niet de vraag óf VoIP traditionele telefonie vervangt, maar wannéér.

¹² Diverse nieuwssites, o.a. <http://tweakers.net/nieuws/46190/KPN:-oude-telefoonnet-in-2010-uitschakelen.html>.

¹³ <http://www.webwereld.nl/articles/44970/bond--klanten-internetplusbellen-hebben-recht-op-vergoeding.html>.

8. Bijlagen

8.1. Codec overzicht

| Nummer | Standaard opgesteld door | Beschrijving | Bit rate (kb/s) | Sampling rate (kHz) | Frame size (ms) | Opmerkingen | MOS |
|-----------|--------------------------|--|-------------------------------|---------------------|--------------------|--|----------|
| G.711 | ITU-T | Pulse code modulation (PCM) | 64 | 8 | Sampling | U-law (VS, Japan) and A-law (Europa). Nauwelijks rekenwerk nodig. | 4,3 |
| G.721 | ITU-T | Adaptive differential pulse code modulation (ADPCM) | 32 | 8 | Sampling | Overbodig geworden door G.726 | |
| G.722 | ITU-T | 7 kHz audio-coding (64 kbit/s) | 64 | 16 | Sampling | Verdeelt de 16 kHz in twee subbanden, beide worden gecodeerd met ADPCM | 4,1 |
| G.723 | ITU-T | | 24/40 | 8 | Sampling | Heeft veel rekenwerk nodig, overbodig geworden door opvolger G.726 | 3,7-4,0 |
| G.723.1 | ITU-T | | 5,6/6,3 | 8 | 30 | Onderdeel van H.324 video conferencing. | 3,8-3,9 |
| G.726 | ITU-T | adaptive differential pulse code modulation (ADPCM) | 16/24/32/40 | 8 | Sampling | ADPCM; opvolger van G.721 en G.723. | 3,0-4,1 |
| G.727 | ITU-T | 5-, 4-, 3- en 2-bit sample ADPCM | var. | | Sampling | ADPCM vergelijkbaar met G.726 | |
| G.728 | ITU-T | CELP | 16 | 8 | 2,5 | | 3,61 |
| G.729 | ITU-T | conjugate-structure algebraic-code excited linear prediction (CS-ACELP) | 8 | 8 | 10 | Rekenintensief. Licentie benodigd voor gebruik. G.729a is de mindere rekenintensieve variant | 3,92 |
| GSM 06.10 | ETSI | Regular Pulse Excitation Long Term Predictor (RPE-LTP) | 13 | 8 | 22,5 | Gebruikt voor GSM-telefonie | 3,3-3,4 |
| Speex | | Open source codec | 2,15-24,6 (NB) 4-44,2 (WB) | 8, 16, 32 | 30 (NB) 34 (WB) | Zeer veel mogelijkheden. Gratis codec. | 2,3-4,4? |
| iLBC | IETF | Gemaakt door Global IP Solutions, gebruiken zonder licentie. Wordt door Skype gebruikt | 13,3/15,2 | 8 | 20/30 | Presteert beter dan andere codecs bij veel packet loss, door ieder frame individueel gecodeerd wordt | 3,8-4,1 |
| iSAC | | Gemaakt door Global IP Solutions. Wordt door Skype gebruikt | variabel 10 - 32 | 16 | variabel 30 - 60 | Er is ook een low complexity modus van 40 kbps | ? |

Tabel 81 - Overzicht van veel gebruikte audiocodecs. Van een aantal codecs is ook de MOS weergegeven.

8.2. Appendix B – Het OSI 7 layer model

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|-----------------------------------|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Laag |
| Physical Transport | Data Link | Network | Transport | Session | Presentation | Application | Naam |
| Bits | Frames | Packets | Segments | Data | Data | Data | Type data |
| Versturen van binair data, de fysieke overdracht. | Fysieke adressering, zorgt voor correct transport en adressering van de data van laag 1. | Zorgt voor de logische adressering in het gehele netwerk. Het IP protocol gebruikt hiervoor IP nummers | Zorgt voor de garantie van datatransport, iets dat bij de netwerklaag ontbreekt. | Deze laag wordt momenteel nauwelijks gebruikt, is bedoeld voor sessies en authenticatie. | De presentatie van de data. Bijvoorbeeld het converteren tussen codetabellen bij tekst of het gebruiken van encryptie. | Het dataformaat van de toepassing | Omschrijving |
| DSL, 10/100Base-TX, ISDN, SONET | Ethernet, PPP, SLIP, ATM, Fibre Channel | IPv4, IPv6, IPX, ICMP, ARP | TCP, UDP, SPX, SCTP | - | Niet in gebruik, (XML?) | HTTP, FTP, RTP, IRC etc. | Voorbeelden |

Tabel 82

9. Bronvermelding

- [1] SIP protocol specificatie
RFC 3261
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>

- [2] IBM Research report "Evaluating SIP Server performance"
Erich Nahum, John Tracey en Charles P. Wright
<http://domino.watson.ibm.com/library/cyberdig.nsf/papers/336B72A82B089F4B85257282005B93E9/>

- [3] Stochastische methoden en simulatie voor BWI
Prof. dr. H.C. Tijms
VU uitgave, Voorjaar 2002

- [4] Collegestof van 'Stochastic models for Design and Planning'
Onbekende auteur
<http://www.win.tue.nl/~iadan/sdp/>

- [5] Jitter, packet loss
Voiptroubleshooter
www.voiptroubleshooter.com

- [6] SIP messages
Tech Invite
www.tech-invite.com

- [7] Codecoverzicht
Voipforo
<http://www.en.voipforo.com/codec/codecs.php>

- [8] SIP, OSI model
Wikipedia
www.wikipedia.org

- [9] Asterisk
Asterisk website
www.asterisk.org

- [10] Asterisk
Voipuser forum
http://www.voipuser.org/forum_index.html

[11] Skype
Skype
www.skype.com