

GEBRUIKERSERVARING
VAN EEN NETWERK
ONDERZOEKSRAPPORT



GEBRUIKERSERVARING VAN EEN NETWERK

ONDERZOEKSRAPPORT

Datum	8 juni 2018
Auteur	Joost Melkert melk0001@hz.nl Studentnummer 69018
Bedrijf + begeleider	Qcast B.V. P. Liebregts liebregts@qcast.nl
School + begeleider	HZ University of Applied Sciences HBO-ICT M.L.M. Beckers beck0003@hz.nl

Samenvatting

De visie van Qcast is om bedrijfsnetwerken zo op te zetten dat ze zo proactief en autonoom mogelijk een zo goed mogelijke gebruikerservaring kunnen leveren. Dit onderzoek vormt een stap in het realiseren van deze visie. Om proactief in te kunnen spelen op problemen binnen de netwerken die door Qcast beheerd worden is het namelijk belangrijk om eerst te weten waar zich problemen afspelen.

Het doel van dit onderzoek is om te zorgen dat de resultaten gebruikt kunnen worden om een prototype te bouwen van een applicatie die de gebruikerservaringen van netwerken kan beoordelen. Om dit doel te bereiken is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

“Hoe kan de gebruikerservaring van een bedrijfsnetwerk dat beheerd wordt door Qcast op een bepaald moment gemeten en beoordeeld worden?”

Eerst is onderzocht welke parameters de beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk bepalen. Vervolgens is bekeken hoe deze parameters samenkomen in een berekening. Ten slotte is bekeken hoe de variabelen van deze berekening gemeten kunnen worden.

Er is gebleken dat de gebruikerservaring van een netwerk beoordeeld kan worden door een beoordeling op te stellen voor netwerkverkeer van verschillende applicaties en deze beoordelingen vervolgens te combineren tot één algemene beoordeling. De beoordeling wordt gevormd door de volgende parameters: Packet loss, bandbreedte en responsetijd in combinatie met jitter.

De scope van dit onderzoek is bewust afgebakend, onder andere door rekening te houden met een specifieke selectie applicaties. In de toekomst zou echter onderzocht kunnen worden hoe rekening gehouden kan worden met meer applicaties of zelfs alle applicaties binnen een netwerk. Daarnaast zouden de resultaten van het onderzoek in de toekomst uitgebreid kunnen worden om rekening te houden met meer soorten netwerkkapparaten.

Abstract

Qcast's vision is to set up company networks in a way in which they act proactively and autonomously to provide the best possible user experience. This research forms a step towards realising this vision. To be able to act proactively on problems within networks that are maintained by Qcast, it is important to know where problems may occur.

The goal of this research is to provide results that can be used for developing a prototype of an application that is able to grade the user experience of networks. To reach this goal, the following research question is formed:

“How can the user experience of a company network that is maintained by Qcast be measured and graded at a certain moment?”

Firstly, it has been researched which parameters determine the grade of the user experience of a network. Secondly, it has been determined how these parameters can be represented in the form of an equation. Lastly, it has been researched how the variables in this equation can be measured.

It has been shown that the user experience of a network can be determined by grading the user experience of network traffic of specific applications and combining these grades into one general grade. The equation consists of the following parameters: Packet loss, bandwidth and response time combined with jitter.

This research has a clear scope. Among other scoping factors, one factor is that only a specific selection of applications has been taken into account. In the future, it may be researched how more applications or even all applications in a network can be taken into account. Furthermore, the results of this research could be expanded in the future to consider more types of network devices.

Versiebeheer

Versie	Auteur	Omschrijving
v0.1	JM	Concept onderzoeksvoorstel (Inleiding en Software Defined Networking paragraaf van Theoretisch kader)
v0.2	JM	Concept onderzoeksvoorstel (Inleiding en theoretisch kader)
v0.3	JM	Concept onderzoeksvoorstel (Volledige versie)
v1.0	JM	Onderzoeksvoorstel (Feedback verwerkt)
v1.1	JM	Definitief onderzoeksvoorstel (Aanpassingen aan onderzoeksmethode)
v2.0	JM	Concept onderzoeksrapport (Deelvragen aangepast, onderzoeksmethode in verleden tijd, onderzoeksmethode aangepast, resultaten deelvraag 1 en 2 en discussie deelvraag 1)
v2.1	JM	Concept onderzoeksrapport (Begrippenlijst bijgewerkt, onderzoeksmethode aangepast, resultaten deelvraag 3 en discussie deelvraag 2 en 3, conclusie toegevoegd, samenvatting toegevoegd, abstract toegevoegd, interviewverslagen toegevoegd en feedback van schoolbegeleider op v2.0 verwerkt)
v2.2	JM	Concept onderzoeksrapport (Antwoorden op vragen aan schoolbegeleider verwerkt)
v3.0	JM	Definitief onderzoeksrapport (Validaties van bedrijfsbegeleider, network engineer en softwareontwikkelaar verwerkt)

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1: Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Doelstelling	1
1.4 Relevantie	1
1.5 Vraagstelling	2
Hoofdstuk 2: Theoretisch kader	3
2.1 Software Defined Networking	3
2.2 Gebruikerservaring	4
2.3 Samenhang met deelvragen	7
Hoofdstuk 3: Onderzoeksmethode	8
3.1 Deelvraag 1	8
3.2 Deelvraag 2	9
3.3 Deelvraag 3	10
3.4 Totaalbeeld	10
Hoofdstuk 4: Resultaten	11
4.1 Deelvraag 1	11
4.2 Deelvraag 2	15
4.3 Deelvraag 3	22
Hoofdstuk 5: Discussie	25
5.1 Deelvraag 1	25
5.2 Deelvraag 2	26
5.3 Deelvraag 3	27
5.4 Algemeen	28
Hoofdstuk 6: Conclusie	29
Hoofdstuk 7: Literatuur	30
Bijlage 1: Interviews	31
Bijlage 2: Bronnenlijst ‘metingen’	40
Bijlage 3: Validatie van onderzoeksresultaten	42

Begrippenlijst

Tabel 1: Begrippenlijst

Begrip	Definitie
Access Point	Een netwerkapparaat dat apparaten draadloos verbindt met een netwerk.
Bandbreedte	De hoeveelheid bits die per seconde verwerkt kan worden door een apparaat.
Beheerlaag	Binnen de Software Defined Networking architectuur is dit de laag die de netwerkapparaten op de data laag kan configureren en er zaken als statistieken uit kan uitlezen. Deze laag bestaat vaak uit een controller die handelt op basis van opdrachten van de applicaties die met de controller communiceren om een bepaald doel te bereiken (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).
Controller	Binnen de Software Defined Networking architectuur is dit een apparaat binnen de beheerlaag welke een interface heeft waarmee applicaties kunnen communiceren. Op basis van deze communicatie communiceert de controller met netwerkapparaten in de data laag, bijvoorbeeld door een configuratie door te sturen. Het dient dus als een verbindstuk tussen de applicatielaag en de data laag. (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).
Data laag	Binnen de Software Defined Networking architectuur is dit de architectuurlaag die de packets afhandelt op basis van de configuratie die is ingesteld door de beheerlaag. Deze laag bestaat vaak voornamelijk uit netwerkswitches. De data laag kan communiceren met de beheerlaag via een gedeeld protocol (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).
Interface	Een verbinding tussen twee elektronische apparaten of tussen een persoon en een elektronisch apparaat.
Jitter	De mate waarin responsetijd varieert.
Kritieke Prestatie Indicator (KPI)	Een meetpunt dat een goede indicator geeft over het succes of falen van een succesbepalende factor (Een factor die voor de organisatie continuïteitsbepalend is) of van het functioneren van een proces (Ahaus & Diepman, 2010).
Missie	Een omschrijving van de primaire functie of opdracht van een organisatie (Ahaus & Diepman, 2010).
Netwerk	Een systeem dat bestaat uit aan elkaar gekoppelde apparaten die data met elkaar kunnen uitwisselen.
Netwerkpoot	Een fysieke ingang in een netwerkapparaat waar een netwerkkabel in gestoken kan worden, om zo deze netwerkpoot te verbinden met een ander apparaat.
Packet	Een stukje data dat van de ene naar de andere plek wordt gestuurd over het netwerk.
Packet drops	Packets die niet succesvol behandeld worden door een netwerkapparaat.
Packet loss	Zie 'Packet drops'.
Persona	Model dat de karakteristieken en gewoontes van de beoogde doelgroep omschrijft (Getto & Beecher, 2016).
Pootnummer	Een nummer wat bij elkaar horend netwerkverkeer identificeert.
Protocol	Een verzameling regels en procedures voor de uitwisseling van data tussen elektronische apparaten.
Responsetijd	De tijd tussen het versturen van een verzoek door een gebruiker naar een systeem en het terugontvangen door dezelfde gebruiker van de reactie van dit systeem op het verzoek.
Round-trip time	De tijd die het duurt om een packet van een bronapparaat naar een bestemming te versturen en deze weer terug te ontvangen op het bronapparaat vanuit de bestemming.
Router	Een netwerkapparaat dat apparaten met het internet verbindt (Cisco z.j.).
SLA (Service Level Agreement)	Een overeenkomst tussen een partij die IT-diensten levert en een klant van deze partij. Deze overeenkomst omschrijft de te leveren dienst(en), te behalen doelen en de verantwoordelijkheden van beide partijen (GreyCampus, 2013).

Software Defined Networking	Een netwerkarchitectuur waarbij de data laag is afgescheiden van de beheer laag en waarbij de beheer laag programmeerbaar is (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).
Netwerkswitch	Een netwerkkapparaat dat apparaten met elkaar verbindt om zo een netwerk te vormen. Er zijn onbeheerde netwerkswitches en beheerde netwerkswitches. Onbeheerde netwerkswitches werken direct wanneer ze aangesloten worden en kunnen niet geconfigureerd worden. Onbeheerde netwerkswitches worden vaak in thuisnetwerken gebruikt. Beheerde netwerkswitches kunnen wel geconfigureerd worden en hebben vaak meer capaciteit dan onbeheerde netwerkswitches. Deze worden vaak in bedrijfsnetwerken gebruikt (Cisco z.j.). In dit onderzoek zal een beheerde netwerkswitch bedoeld worden, wanneer gesproken wordt van een netwerkswitch.
Visie	Een omschrijving van hoe een organisatie eruit zou moeten zien in de toekomst. Deze omschrijving ontstaat vaak uit deels analytische en deels emotionele overwegingen (Ahaus & Diepman, 2010).

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Aanleiding

Qcast is een bedrijf dat zich richt op het opzetten en beheren van bedrijfsnetwerken voor zakelijke klanten die internationaal opereren. Deze bedrijfsnetwerken bestaan uit routers, netwerkswitches en access points die in de meeste gevallen geproduceerd zijn door Cisco (Bijlage 1.1).

De visie van Qcast is om bedrijfsnetwerken de komende jaren zo op te zetten dat de software die deze beheert zichzelf aanpast aan de gebruikers van deze netwerken en op deze manier zelf problemen oplost en voorkomt. Het doel van de proactieve autonome netwerken die op deze manier ontstaan is om waar mogelijk de best mogelijke gebruikerservaring te bieden (Bijlage 1.1).

Cisco ontwikkelt hier momenteel software voor. Aangezien deze software nog niet op de markt is en andere software van Cisco tot op heden vaak ontoereikend voor Qcast is gebleken, wil Qcast niet afwachten tot deze software op de markt komt, maar zelf software gaan ontwikkelen (Bijlage 1.1).

1.2 Probleemstelling

Het uit te voeren onderzoek vormt een stap in het proces richting het bereiken van deze visie. Om op een bepaald moment de gebruikerservaring van netwerken te kunnen optimaliseren moet eerst in kaart worden gebracht wat de gebruikerservaring van deze netwerken op dat moment is en welke netwerken problemen vormen. Met deze informatie als basis kan later vastgesteld worden wat gedaan moet worden om de gebruikerservaring van deze netwerken tot een optimaal niveau te brengen. Op deze manier wordt dus een stap gezet om in plaats van een reactieve aanpak, een meer proactieve aanpak richting netwerken te hanteren.

1.3 Doelstelling

Met behulp van de resultaten van dit onderzoek zal een prototype gebouwd worden van een applicatie die de gebruikerservaring van een netwerk kan beoordelen. De resultaten die deze applicatie biedt zullen geanalyseerd worden door de gebruikers ervan om mogelijke netwerkverbeteringen te vinden.

De applicatie zal gebaseerd zijn op de bevindingen van dit onderzoek. De berekening ter beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk die gedefinieerd wordt zal gebruikt worden. Daarnaast zullen de variabelen van deze berekening gemeten worden zoals beschreven in dit onderzoek.

1.4 Relevantie

1.4.1 Bedrijfsrelevantie

Aangezien, zoals hierboven wordt gesteld, dit onderzoek bijdraagt aan het bereiken van de visie van Qcast, wordt daarmee direct de relevantie van dit onderzoek voor het bedrijf onderstreept. Het is de eerste stap in de roadmap van Qcast richting een autonoom proactief netwerk, aangezien het noodzakelijk is om een huidige situatie in kaart te kunnen brengen, alvorens deze verbeterd kan worden.

1.4.2 Maatschappelijke relevantie

Door het onderzoeken en uiteindelijk implementeren van IT-mogelijkheden binnen de maatschappij, kunnen werkzaamheden vaak eenvoudiger, sneller en in sommige gevallen zelfs automatisch worden uitgevoerd, waardoor ze efficiënter worden uitgevoerd (Bijlage 1.1). Voor dit onderzoek geldt hetzelfde.

1.4.3 Kennisgebied en theoretische relevantie

Innovaties door bedrijven die zich specialiseren in netwerken zijn op dit moment voornamelijk gericht op het kennisgebied Software Defined Networking (Bijlage 1.1). Dit richt zich op het definiëren en configureren van netwerken op basis van een softwaremodel. Software Defined Networking valt binnen het overkoepelende kennisgebied van netwerken in het algemeen.

Binnen het kennisgebied Software Defined Networking is echter nog weinig onderzoek gedaan naar hoe de gebruikerservaring van een netwerk door middel van software in kaart kan worden gebracht, waarbij deze software uiteindelijk gebruikt kan worden om verbeteringen aan te brengen aan de definitie en configuratie van een netwerk. Aangezien dit bijdraagt aan het kennisgebied “Software Defined Networking”, is daarmee de theoretische relevantie van dit onderzoek benoemd.

Naast het kennisgebied Software Defined Networking draagt dit onderzoek ook bij aan het kennisgebied gebruikerservaring. Binnen dit kennisgebied zijn niet veel onderzoeken uitgevoerd die betrekking hebben op netwerken. Aangezien de meetwijze van de gebruikerservaring van een netwerk over het algemeen beduidende verschillen heeft met de meetwijze van de gebruikerservaring van een applicatie of product, kan dit onderzoek tot nieuwe inzichten leiden binnen dit kennisgebied.

1.5 Vraagstelling

De vraag die dit onderzoek probeert te beantwoorden luidt:

“Hoe kan de gebruikerservaring van een bedrijfsnetwerk dat beheerd wordt door Qcast op een bepaald moment gemeten en beoordeeld worden?”

De hiervoor genoemde vraag valt uiteen in de volgende deelvragen:

- Welke parameters hebben invloed op de gebruikerservaring van een netwerk?
- Hoe wordt de berekening ter beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk gevormd?
- Hoe kunnen de variabelen van de berekening worden gemeten?

Hoofdstuk 2: Theoretisch kader

2.1 Software Defined Networking

In de traditionele kijk op netwerken heeft ieder netwerkkapparaat zijn eigen datalaag en beheerlaag. Onder de datalaag wordt hier het onderdeel van het netwerk verstaan dat de packets in goede banen leidt en onder de beheerlaag wordt het onderdeel van het netwerk verstaan dat de datalaag configureert en aanstuurt (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).

Wanneer netwerkkapparaten binnen een netwerkarchitectuur volgens de traditionele kijk op netwerken werkzaam zijn, is het lastig om de configuratie ervan te veranderen. Dit komt doordat dit op ieder apparaat zelf veranderd moet worden, in plaats van via een algemene interface voor meerdere apparaten (Nunes et al., 2014).

Software Defined Networking biedt een nieuwe kijk op het beheren van netwerken. Software Defined Networking bestaat uit twee basisprincipes, namelijk dat de datalaag en beheerlaag van een netwerk van elkaar gescheiden zijn en dat de beheerlaag te manipuleren is met externe software. Deze twee principes zorgen samen voor efficiënter beheer van een netwerk (Xia, Wen, Foh, Niyato, & Xie, 2015).

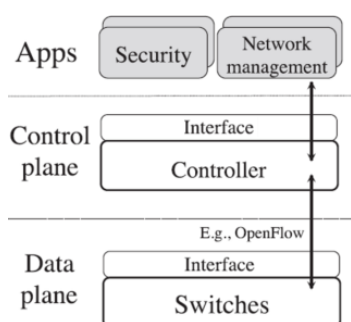
2.1.1 Basisprincipes

Beide principes zijn eerder al los van elkaar geïmplementeerd. Zo zijn in het eerste decennium van deze eeuw al meerdere concepten geïntroduceerd die de datalaag van de beheerlaag wilden scheiden. Er zijn ook al een aantal producten op de markt, zoals de Cisco ASR 1000 routers, waarbij de beheerlaag is gemodulariseerd en is losgekoppeld van de datalaag (Xia, Wen, Foh, Niyato, & Xie, 2015).

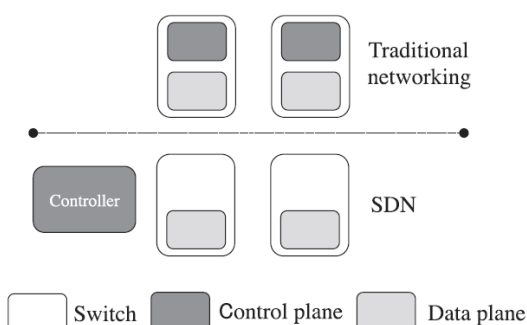
Daarnaast bestaat een concept, genaamd active networking. Hierbij kan ieder packet een 'programma' bevatten, in plaats van slechts ruwe data. In dit 'programma' zitten instructies voor een netwerkkapparaat. Wanneer een netwerkkapparaat een dergelijk 'programma' ontvangt, wordt deze uitgevoerd. Hiermee is active networking gericht op het programmeerbaar maken van de datalaag. Dit maakt het manipuleren van grote netwerken door middel van programmacode echter erg lastig. In het geval van Software Defined Networking wordt dit nadeel weggenomen, omdat enkel met de beheerlaag gecommuniceerd hoeft te worden. (Xia, Wen, Foh, Niyato, & Xie, 2015).

2.1.2 Onderdelen van de netwerkarchitectuur

Een netwerkarchitectuur volgens het Software Defined Networking principe bestaat globaal gezien uit drie lagen, namelijk de applicatielaag, de beheerlaag en de datalaag. Figuur 1 geeft deze netwerkarchitectuur schematisch weer. Figuur 2 geeft weer hoe deze netwerkarchitectuur zich verhoudt tot een traditionele netwerkarchitectuur.



Figuur 1: Software Defined Networking netwerkarchitectuur. Overgenomen uit "Software-Defined Networking: A survey" van Farhady, Lee, & Nakao, 2015.



Figuur 2: Software Defined Networking netwerkarchitectuur ten opzichte van traditionele netwerkarchitectuur. Aangepast overgenomen uit "Software-Defined Networking: A survey" van Farhady, Lee, & Nakao, 2015.

De applicatielaag bestaat uit een of meerdere applicaties die het netwerk manipuleren of uitvragen, zoals een applicatie ten behoeve van de veiligheid, een analyseapplicatie als degene die in dit onderzoek beschreven wordt of simpelweg een applicatie waarmee netwerkapparaten beheerd kunnen worden. De applicaties in de applicatielaag communiceren via een interface met de controller in de beheerlaag (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).

De beheerlaag bestaat uit een controller, die aan te spreken valt via een hierbij horende interface. De controller vertaalt de ontvangen instructies van de applicatielaag naar instructies die naar specifieke netwerkapparaten in de data laag gestuurd kunnen worden en communiceert deze via een interface naar de betreffende netwerkapparaten. Hierbij kan gedacht worden aan het opvragen van informatie of het wijzigen van de configuratie van een netwerkapparaat (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).

De data laag bestaat uit de uitvoerende netwerkapparaten, zoals netwerkswitches, die aan te spreken zijn via een gedeeld protocol. Vaak wordt hiervoor OpenFlow als voorbeeld genoemd, een van de eerste toepassingen van Software Defined Networking. De data laag vormt het gedeelte van het netwerk dat dataverwerking uitvoert op basis van de configuratie die is ingesteld door de beheerlaag (Farhady, Lee, & Nakao, 2015).

2.2 Gebruikerservaring

In dit onderzoek wordt de volgende definitie voor gebruikerservaring gebruikt: “De opvattingen en reacties die voortkomen uit het gebruik of het geanticipeerde gebruik van een product, systeem of dienst (ISO, 2010).” Aangezien dit onderzoek zich richt op bedrijfsnetwerken, geldt een brede doelgroep met allerlei verschillende eisen en wensen.

2.2.1 Bepalen van parameters en hun samenhang

De totale gebruikerservaring wordt gevormd door een combinatie van verschillende parameters. Op zichzelf bieden de waardes die gemeten worden vaak al informatie (Tullis & Albert, 2013). In het geval van dit onderzoek is het echter belangrijker om tot een eindbeoordeling te komen die alle parameters combineert tot een allesomvattende formule.

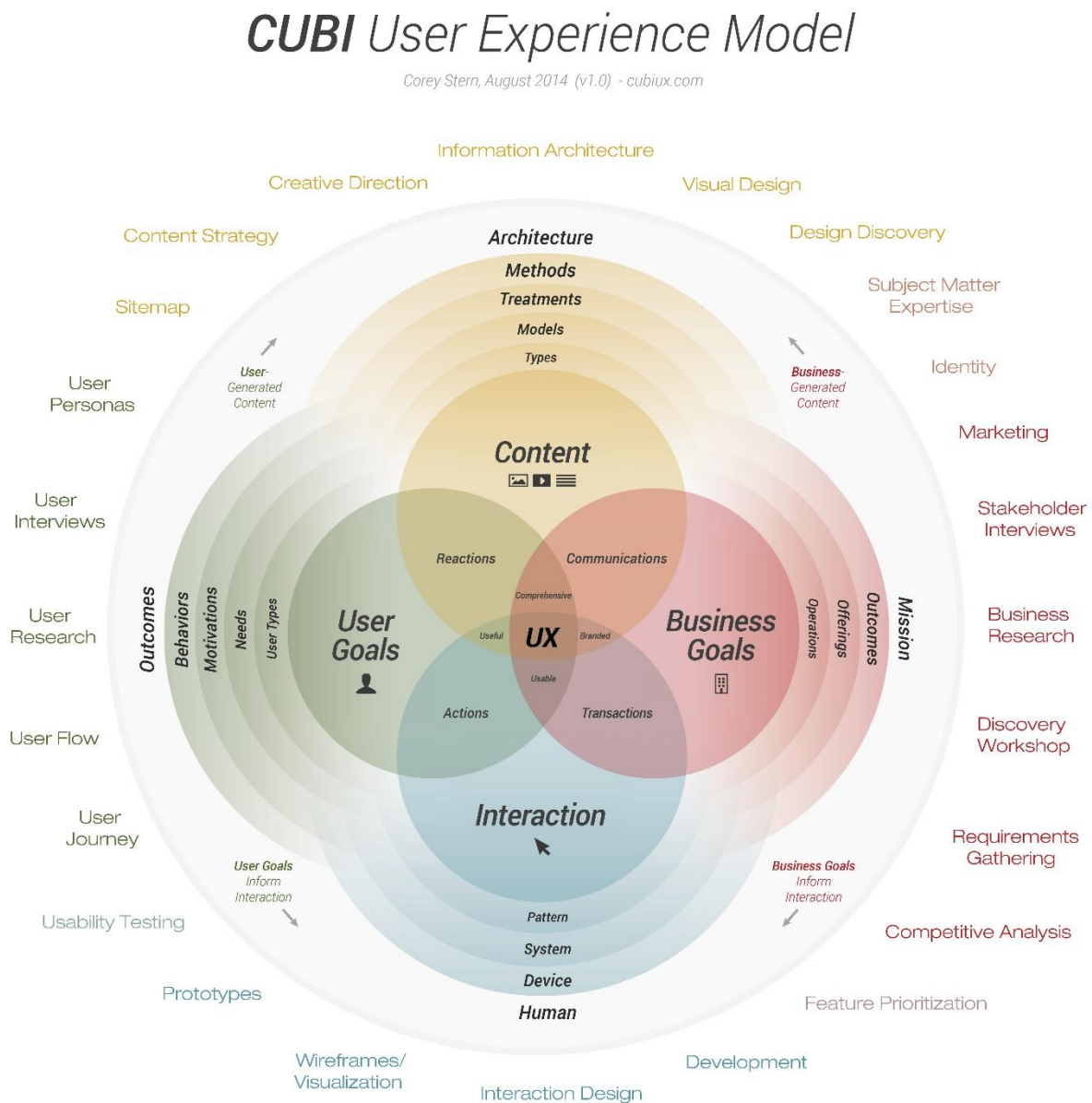
Welke parameters van toepassing zijn, is anders voor ieder product en iedere dienst. Voor een website zijn bijvoorbeeld parameters van toepassing als het aantal stappen dat het een gebruiker kost om een bepaalde taak uit te voeren, het aantal foutmeldingen dat de gebruiker tegenkomt en natuurlijk de ervaring die de gebruiker zelf aangeeft bij de website (Tullis & Albert, 2013).

De gebruikte parameters en hun weging in de formule kunnen op verschillende manieren bepaald worden. Zo kunnen al standaarden van toepassing zijn binnen het bedrijf die als basis gebruikt kunnen worden of kan de gebruikerservaring bekeken worden door middel van een model, zoals het CUBI-model.

2.2.2 CUBI-model

Dit model houdt zich bezig met vier aspecten, namelijk inhoud, gebruikersdoelen, bedrijfsdoelen en interactie (Stern, 2014). Daarnaast definieert het CUBI-model een buitenste ring met daarin acties die uitgevoerd kunnen worden om tot een goede gebruikerservaring te komen.

Niet ieder aspect of ieder onderdeel van een aspect van het model zal even relevant zijn voor dit onderzoek, aangezien de gebruikerservaring van een netwerk niet hetzelfde gemeten kan worden als de gebruikerservaring van bijvoorbeeld een applicatie. Een overzicht van het CUBI-model staat in Figuur 3 (Stern, 2016) afgebeeld.



Figuur 3: Overzicht van het CUBI-model. Overgenomen uit "CUBI User Experience Model" van C. Stern, 2016.

Inhoud (Content)

Dit aspect van het model houdt zich bezig met de wijze waarop inhoud wordt ingebouwd in een product of dienst (Stern, 2014). De meeste onderdelen van dit aspect zijn voor de gebruikerservaring van een netwerk echter niet relevant aangezien de structuur en de kwaliteit van de inhoud die gepresenteerd wordt niet van toepassing is op de gebruikerservaring van een netwerk.

Soorten data (Types)

Het enige onderdeel dat wel van toepassing is, is de datasoort. Voor verschillende soorten data die over het netwerk verstuurd worden zijn vaak ook verschillende configuraties het meest geschikt (Bijlage 1.2).

Gebruikersdoelen (User Goals)

Dit aspect van het model houdt zich bezig met de doelen van de gebruikers van een netwerk. Dit is belangrijk, aangezien de gebruiker uiteindelijk degene is waar alles rond de gebruikerservaring om draait (Bijlage 1.2).

Soorten gebruikers (User Types)

De eerste stap in het formuleren van de gebruikersdoelen is het bepalen welke soorten gebruikers er zijn, aangezien gebruikersdoelen per gebruikerssoort kunnen verschillen. Om inzicht te krijgen in deze gebruikerssoorten wordt vaak per soort een persona samengesteld (Stern, 2014).

Behoeften (Needs)

Op basis van de gebruikerssoorten en hun kenmerken kunnen hun behoeften vastgesteld worden. Deze behoeften kunnen gekoppeld worden aan de soorten data die bestaan, aangezien bepaalde soorten gebruikers zich meer met bepaalde soorten data bezig zullen houden en daarom andere dingen van een netwerk zullen vragen dan andere gebruikers (Bijlage 1.2). Om inzicht te krijgen in de behoeften van gebruikers kunnen interviews met ze afgenomen worden (Stern, 2014).

Motivatatie (Motivations)

Vaak moeten gebruikers gemotiveerd worden om een product of dienst te gebruiken. De grootste motivators hiertoe zijn de hierboven omschreven gebruikersbehoeften. Er zijn echter ook andere manieren om gebruikers te motiveren, bijvoorbeeld door het bieden van een beloningssysteem in een applicatie of door gebruikers naar specifieke delen van de applicatie te leiden met behulp van de vormgeving of structuur van de applicatie (Marfatiya, 2014).

Gedrag (Behaviors)

De hiervoor genoemde motivators leiden tot een gewenst gedrag. Dit gedrag kan vaak gestuurd worden indien hier goed over wordt nagedacht in het ontwerp van het product of de dienst. Soms kan dit zelfs leiden tot het bewust aanleren van gewoonten bij gebruikers (Marfatiya, 2014).

Resultaat (Outcomes)

Als de hierboven genoemde behoeften, motiverende factoren en gewenste gedragingen bekend zijn, kunnen deze omgezet worden in betekenisvolle en meetbare resultaten die het product of de dienst moet bieden (Marfatiya, 2014).

Bedrijfsdoelen (Business Goals)

Tegenover de gebruikersdoelen staan de doelen die het bedrijf dat een netwerk faciliteert wil bereiken.

Facilitering (Operations)

Om de bedrijfsdoelen te achterhalen is het belangrijk om te weten hoe het bedrijf het aanbod faciliteert. Voor deze facilitering kunnen zowel mensen als middelen ingezet worden. Om deze facilitering in kaart te brengen kunnen interviews gehouden worden met de belanghebbenden binnen het bedrijf die te maken hebben met deze facilitering (Stern, 2014).

Aanbod (Offerings)

Om inzicht te krijgen in de doelen van het bedrijf is het belangrijk om wat weten wat precies wordt aangeboden door het bedrijf. Een middel hiertoe is het in kaart brengen van de toegevoegde waarde van het netwerk en hoe dit zich verhoudt tot netwerken die door andere bedrijven geëxploiteerd worden (Stern, 2014).

Resultaat (Outcomes)

Het bedrijf heeft zijn aanbod gebaseerd op een resultaat wat hij ermee wil behalen. Het gewenste resultaat kan gebaseerd worden op Kritieke Prestatie Indicatoren (KPI's) (Stern, 2014). Als het resultaat aan deze KPI's bijdraagt, zal het een positief effect hebben op het bedrijf.

Missie (Mission)

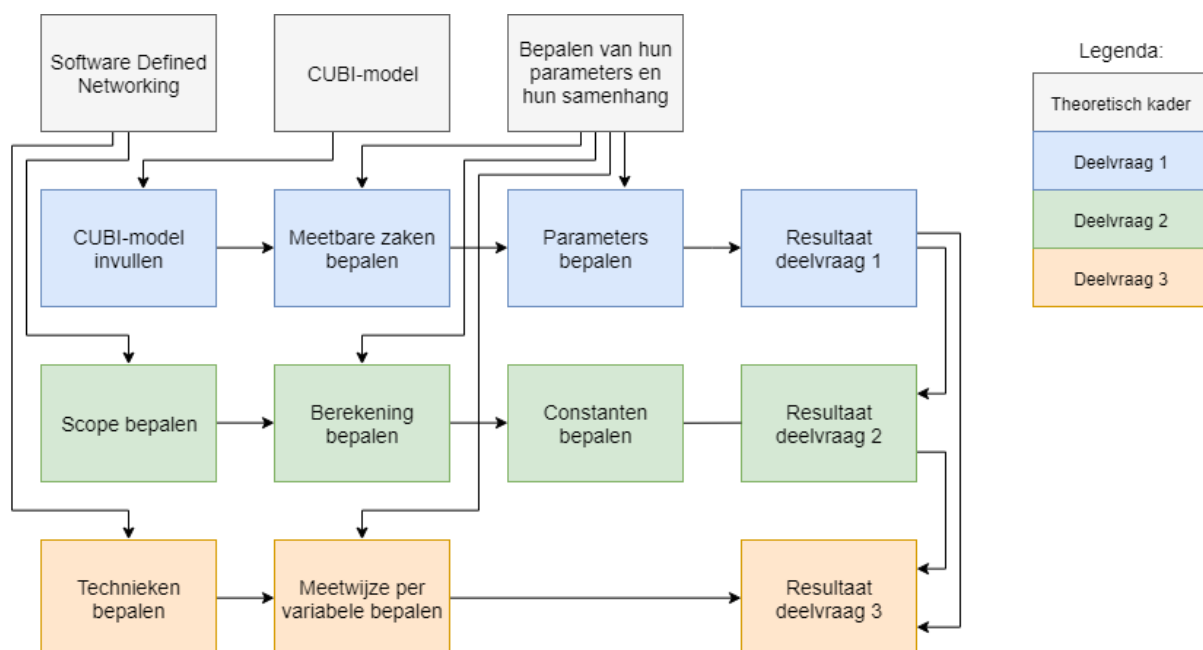
Het hiervoor genoemde resultaat met het bijbehorende aanbod en de facilitering hiervan komt voort uit de missie van het bedrijf. Deze missie omvat het bestaansrecht van de organisatie en daarmee de overige benoemde onderdelen van het aspect bedrijfsdoelen. De missie kan achterhaald worden middels een interview met het management van het bedrijf (Stern, 2014).

Interactie (Interaction)

Het laatste aspect van het model richt zich op de interactie van gebruikers met een product. Net als het aspect 'Inhoud' is dit aspect grotendeels irrelevant voor netwerken. Afgezonderd van het verbinden met een netwerk zal een gebruiker ervan namelijk niet direct interacteren met een netwerk. In plaats daarvan dient het als hulpmiddel voor applicaties (Bijlage 1.2).

2.3 Samenhang met deelvragen

In Figuur 4 staat weergegeven op welke onderzoeksactiviteiten rondom de deelvragen de verschillende onderdelen van dit theoretisch kader van toepassing zijn.



Figuur 4: Samenhang tussen theoretisch kader en deelvragen.

Hoofdstuk 3: Onderzoeksmethode

3.1 Deelvraag 1

Deelvraag 1 luidt: “Welke parameters hebben invloed op de gebruikerservaring van een netwerk?” Het antwoord hierop is gevormd door middel van kwalitatief onderzoek, er zijn namelijk interviews gehouden en er is exploratief onderzoek gedaan in de vorm van deskresearch.

3.1.1 CUBI-model invullen

Om een beeld te krijgen van de parameters die invloed hebben op de gebruikerservaring, zijn eerst de relevante aspecten van het CUBI-model ingevuld waar mogelijk met behulp van een interview met de bedrijfsbegeleider (Bijlage 1.3). Per aspect en daarbinnen per onderdeel is een korte omschrijving gegeven van de bevindingen in het interview. Deze omschrijvingen zijn gevalideerd door de bedrijfsbegeleider en een network engineer, welke werkzaam is op de support-afdeling (Bijlage 3). Dit voldoet, omdat deze inzicht hebben in de wensen van klanten en kennis heeft van de SLA's die voor deze klanten gelden. De aspecten met onderliggende onderdelen zijn zoals hieronder omschreven in kaart gebracht.

Inhoud

Eerst is bekeken welke soorten data geclassificeerd kunnen worden, aangezien voor verschillende datasoorten mogelijk verschillende parameters en wegingen voor deze parameters van toepassing zijn. Dit omvat het aspect “Inhoud” van het CUBI-model. De rest van de onderdelen van het aspect “Inhoud” zijn niet relevant voor netwerken, aangezien de inhoud van de data die over een netwerk gaat niet relevant is voor de prestaties van een netwerk.

Gebruikersdoelen

Daarna is het aspect “Gebruikersdoelen” in kaart gebracht. Conform het CUBI-model dat staat omschreven in het theoretisch kader, is eerst bekeken welke gebruikerstypen er zijn door middel van een interview met de bedrijfsbegeleider. In hetzelfde interview zijn ook de onderdelen behoefte, motivatie, gedrag en resultaat aan bod gekomen. Aangezien de bedrijfsbegeleider veel ervaring heeft met netwerken in het algemeen, iedere dag werkt met de netwerken die Qcast beheert en vaak met klanten overlegt heeft deze inzicht in de gebruikersdoelen van klanten.

Bedrijfsdoelen

Uiteindelijk is het aspect “Bedrijfsdoelen” in kaart gebracht. Hiervoor is conform het CUBI-model eerst bekeken wat het aanbod is en hoe dit gefaciliteerd wordt. Vervolgens is bekeken wat het beoogde resultaat van dit aanbod is en hoe dit past binnen de missie van Qcast. Deze onderdelen zijn ten behoeve van de leesbaarheid in tegengestelde volgorde weergegeven, ten opzichte van het CUBI-model. Deze onderdelen zijn aan bod gekomen in het eerdergenoemde interview met de bedrijfsbegeleider. Aangezien de bedrijfsbegeleider het aanbod met bijbehorende facilitering, het beoogde resultaat en de missie mede bedacht en uitgerold heeft, kan deze hier voldoende inzicht over verschaffen.

Interactie

Het aspect “Interactie” van het CUBI-model is niet relevant voor dit onderzoek, omdat de gebruikers van een netwerk niet direct met het netwerk interacteren. Daarom is dit aspect niet in kaart gebracht.

3.1.2 Meetbare zaken bepalen

Op basis van de invulling van het CUBI-model en opgezochte literatuur is onderzocht wat te meten valt binnen een netwerk. Een lijst met URL's van relevante bronnen is opgenomen in bijlage 2. De inhoud van deze literatuur is uitgetest op netwerkapparaten binnen een netwerk wat door Qcast beheerd wordt. Hieruit is een lijst geresulteerd met daarin een aantal relevante meetbare zaken binnen een netwerk. Deze lijst is gevalideerd door de bedrijfsbegeleider, een network engineer en een softwareontwikkelaar (Bijlage 3). Daarnaast kunnen de gevonden zaken als betrouwbaar gezien worden, omdat het zeker is dat de genoemde zaken meetbaar zijn wanneer ze zijn uitgetest op netwerkapparaten van Qcast. Dat wil zeggen dat kan worden gesteld dat wanneer een meetwaarde, zoals de maximale ondersteunde bandbreedte op een netwerkpoort van een netwerkapparaat, uit een netwerkapparaat opgevraagd kan worden, deze waarde als meetbaar kan worden beschouwd.

3.1.3 Parameters bepalen

De parameters zijn bepaald op basis van de invulling van het CUBI-model en de gevonden meetbare zaken, met behulp van een interview met de bedrijfsbegeleider (Bijlage 1.4). In dit interview zijn de parameters geselecteerd die relevant zijn. De bedrijfsbegeleider is uiteindelijk een gebruiker van de applicatie die de gebruikerservaring gaat beoordelen en speelt daarom een belangrijke en bepalende rol in het mede bepalen van wat relevant is en wat niet. Uit dit interview is een lijst met parameters geresulteerd, welke gevalideerd is door de bedrijfsbegeleider en een network engineer (Bijlage 3).

3.2 Deelvraag 2

Deelvraag 2 luidt: "Hoe wordt de berekening ter beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk gevormd?" Het antwoord hierop is gevormd door middel van kwalitatief onderzoek, aangezien interviews zijn gehouden en deskresearch is uitgevoerd.

3.2.1 Scope bepalen

Voor bepaald kon worden hoe de gebruikerservaring van een netwerk berekend kan worden, moest eerst helder zijn wat de scope is van de berekening. Dit betekent dat is bepaald welke onderdelen van de netwerkinfrastructuur die Qcast beheert, worden meegenomen in de beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk. Dit is met de bedrijfsbegeleider besproken in een interview (Bijlage 1.5), aangezien deze kan bepalen welke informatie van belang is voor Qcast. Uit dit interview is een tweetal afbeeldingen geresulteerd met toelichting, die zijn gevalideerd door de bedrijfsbegeleider en een network engineer (Bijlage 3).

3.2.2 Berekening bepalen

Zodra de parameters en de scope bekend waren, werd de berekening bepaald door middel van een interview met de bedrijfsbegeleider (Bijlage 1.6), omdat deze het meeste inzicht heeft in wat belangrijk is voor de klanten van Qcast. De berekening is eerst onderdeel voor onderdeel toegelicht en uiteindelijk volledig uitgeschreven in de vorm van een formule. De berekening is gevalideerd door de bedrijfsbegeleider en een network engineer (Bijlage 3).

3.2.3 Constanten bepalen

In de berekening zijn een aantal constanten aanwezig, waarvan de waarden nog onbekend waren. De waarden voor deze constanten zijn uniek per applicatie. Om de berekening compleet te maken moesten deze waarden worden ingevuld per applicatie. Deze zijn bepaald op basis van relevante literatuur en door middel van een interview met de bedrijfsbegeleider (Bijlage 1.7). Hier is voor gekozen, omdat een aantal

standaarden gelden binnen het kennisgebied van netwerken, maar deze wel overeen moeten komen met de wensen van Qcast. Dit heeft geresulteerd in een overzicht met de constanten uit de berekening met bijbehorende waarden in tabelvorm per applicatie. Deze tabellen zijn vervolgens gevalideerd door de bedrijfsbegeleider en een network engineer (Bijlage 3).

3.3 Deelvraag 3

Deelvraag 3 luidt: “Hoe kunnen de variabelen van de berekening worden gemeten?” Het antwoord hierop is gevormd door middel van kwalitatief onderzoek, aangezien exploratief onderzoek is uitgevoerd in de vorm van deskresearch.

3.3.1 Technieken bepalen

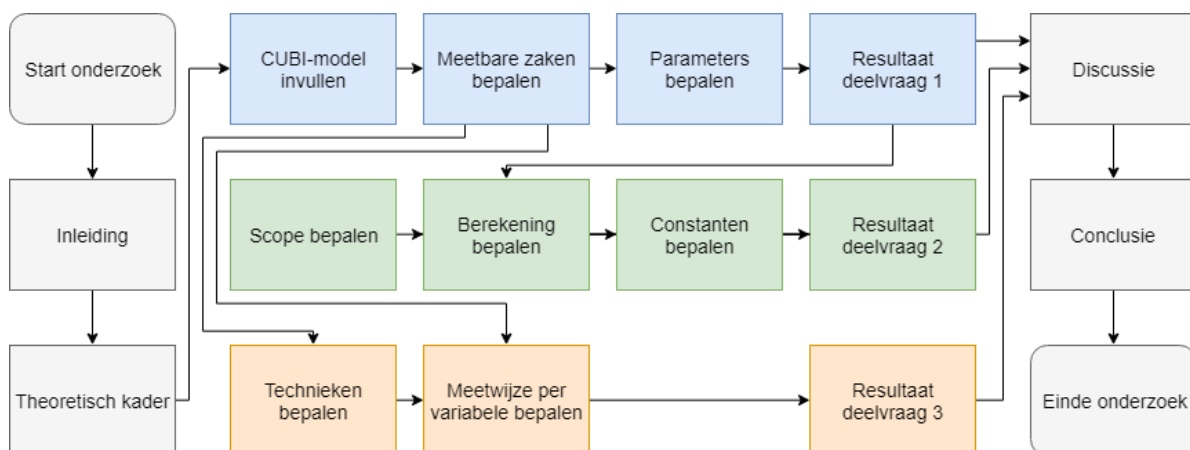
Om de meetwijze per variabele begrijpelijk weer te geven, was het belangrijk om eerst een overzicht te geven van de hiervoor gebruikte technieken. De gebruikte technieken zijn grotendeels gevonden tijdens het beantwoorden van deelvraag 1, bij het bepalen van de meetbare zaken. Tijdens het onderzoeken hiervan zijn namelijk een aantal technieken gebruikt om uit te zoeken wat meetbaar is. Er is gekeken of deze toereikend waren en indien nodig waren meer details uitgezocht of zijn nieuwe technieken toegevoegd. Gebruikte bronnen zijn opgenomen in bijlage 2. Dit is gedaan tot alle variabelen gemeten konden worden. De resultaten zijn weergegeven in de vorm van een omschrijving per techniek. Deze omschrijvingen zijn vervolgens gevalideerd door de bedrijfsbegeleider en een softwareontwikkelaar (Bijlage 3).

3.3.2 Meetwijze per variabele bepalen

Daarna is per variabele in de berekening een stappenplan opgesteld waarin wordt omschreven hoe de variabele gemeten kan worden. Ook dit is grotendeels gebaseerd op hetgeen gevonden is tijdens het beantwoorden van deelvraag 1, bij het bepalen van de meetbare zaken. Overige gebruikte bronnen zijn opgenomen in bijlage 2. De stappen die nog niet bekend waren zijn gevonden door met hulpprogramma's de benodigde informatie op te halen en de stappen hiertoe te noteren. Door de stappen achter elkaar uit te voeren is gecontroleerd of deze het benodigde resultaat gaven. Deze resultaten zijn weergegeven in de vorm van een lijst met stappen per variabelen. Deze lijsten zijn vervolgens gevalideerd door de bedrijfsbegeleider en een softwareontwikkelaar (Bijlage 3).

3.4 Totaalbeeld

In Figuur 5 staat de structuur van het volledige onderzoek schematisch weergegeven.



Figuur 5: Totaaloverzicht van het onderzoek.

Hoofdstuk 4: Resultaten

4.1 Deelvraag 1

Deelvraag 1 luidt: “Welke parameters hebben invloed op de gebruikerservaring van een netwerk?”

4.1.1 CUBI-model

Inhoud

Datasoorten

Netwerken hebben als doel om apparaten, en daarmee gebruikers van deze apparaten, met elkaar te verbinden. Op deze apparaten draaien applicaties, welke verschillende soorten data versturen over het netwerk en daarmee ook verschillende eisen hebben aan de prestaties van een netwerk. Hieronder is een voorbeeld opgenomen waarin voor de drie applicaties die later in dit onderzoek worden besproken, voor bepaalde netwerkparameters is aangegeven in hoeverre deze van belang zijn voor de betreffende applicatie. Deze belangaanduidingen worden uitgebreid met specifieke waarden in deelparagraaf 4.2.3.

Tabel 2: Applicaties en het belang van verschillende netwerkparameters voor deze applicaties.

	Weinig packet loss	Hoge bandbreedte	Lage responsetijd	Weinig jitter
VOIP (Skype For Business)	Ja	Nee	Ja	Ja
Videodienst (YouTube)	Nee	Ja	Nee	Nee
Webapplicatie (Qcast Connectivity Portal)	Nee	Ja	Ja	Nee

Gebruikersdoelen

Soorten gebruikers

Een ‘gebruiker’ van het netwerk is altijd een technisch apparaat. De menselijke gebruikers van deze apparaten zijn echter degenen die een goede gebruikerservaring willen ervaren. Er zijn drie soorten apparaten te onderscheiden, namelijk:

- **Persoonlijke apparaten:** Dit zijn apparaten die over het algemeen door slechts één persoon gebruikt worden. Voorbeelden zijn laptops, tablets en smartphones.
- **Groepsapparaten:** Dit zijn apparaten die door een groep mensen gebruikt worden. Voorbeelden zijn slimme energiemeters, muziekspelers met netwerkmogelijkheden en auto’s.
- **Technische apparaten:** Dit zijn apparaten die niet direct door mensen worden aangestuurd. Voorbeelden zijn automatisch opererende heftrucks en IoT-sensoren.

Deze apparaten vereisen verschillende authenticatieprofielen. Een authenticatieprofiel bepaalt waar een apparaat wel of geen toegang toe heeft binnen een netwerk.

Behoeften

Aangezien netwerken slechts als hulpmiddel worden gebruikt om een gebruiker een van zijn doelen te laten bereiken, namelijk het gebruiken van applicaties zonder problemen, geldt dat gebruikers tevreden zijn over een netwerk, wanneer ze er geen problemen aan ondervinden en er dus geen specifieke aandacht aan hoeven te besteden. De hoofdbehoeftte van gebruikers in relatie tot een netwerk is hiermee dat het ‘gewoon werkt’. Het is dus belangrijk dat voldaan wordt aan alle eisen die applicaties stellen aan het netwerk waar ze gebruik van maken, omdat gebreken in één van de eisen al kunnen zorgen voor een negatieve gebruikerservaring.

Motivatie en gedrag

Vaak is het netwerk waarmee een gebruiker verbonden is de enige manier om verbonden te zijn met andere apparaten binnen dit netwerk of het internet. In sommige gevallen zijn er meerdere opties beschikbaar, zoals op een smartphone, waar veelal zowel een WiFi-verbinding als een 4G-verbinding beschikbaar zijn. De WiFi-verbinding biedt hierbij toegang tot het bedrijfsnetwerk. Het is belangrijk dat het WiFi-netwerk goed presteert, omdat gebruikers anders gebruik zullen maken van hun 4G-verbinding, voor verbinding met het internet.

Resultaat

Het gewenste resultaat wat een netwerk dient te bieden, is dat het goede prestaties levert aan de gebruikers ervan. Anders gezegd moet het netwerk een goede gebruikerservaring bieden. Wat de gebruikerservaring van een netwerk bepaalt wordt later in dit onderzoek gedefinieerd.

Bedrijfsdoelen

Missie

De missie van Qcast luidt als volgt:

“Qcast past waar mogelijk bestaande software toe om een netwerk als sensor te gebruiken. Met deze software krijgt het netwerk ‘bewustzijn’ en zal het autonoom opereren. Ondertussen wordt eigen software ontwikkeld om bestaande software van externe partijen te vervangen met eigen software van hogere kwaliteit.”

Resultaat

Qcast heeft een aantal KPI's omtrent de kwaliteit van de netwerkdiensten die het aanbiedt die voortkomen uit bovenstaande missie. Wanneer aan deze KPI's voldaan wordt, worden diensten van voldoende kwaliteit geleverd. Onderstaande lijst omschrijft deze KPI's:

- **Voldoen aan de SLA's met klanten:** Klanten zijn tevreden wanneer Qcast de diensten levert zoals deze zijn afgesproken in de SLA's.
- **Reactief en proactief omgaan met netwerken:** Naast het oplossen van problemen op het moment dat deze zich voordoen, wordt ook uitgekeken naar problemen die mogelijk aan het ontstaan zijn, zodat deze nog opgelost kunnen worden voor ze voor gebruikers merkbaar zijn.
- **Goed begrip van klanten:** Wanneer een goed begrip bestaat van de huidige situatie waarin een klant zich bevindt en de toekomstplannen van deze klant, kan goed ingespeeld worden op hetgeen deze klant nodig heeft.

Aanbod

Qcast tracht om aan deze KPI's te voldoen binnen het aanbod van ondersteuningsabonnementen aan zijn klanten, die zijn vastgelegd in de SLA's met deze klanten. Dit doet het door continu op de uitkijk te zijn voor mogelijke problemen en oplossingen hiervoor, maar ook door goed na te denken over mogelijke verbeteringen aan netwerkinfrastructuren. In samenhang met dit laatste voert Qcast ook projecten uit waarbij veranderingen worden aangebracht in netwerkinfrastructuren of nieuwe netwerkinfrastructuren worden aangelegd.

Facilitering

De abonnementen en projecten worden gefaciliteerd door de support-afdeling van Qcast. Deze heeft een aantal softwareoplossingen ter beschikking om de netwerken die onder de abonnementen vallen mee te monitoren en beheren. Eén van deze softwareoplossingen is de Qcast Connectivity Portal. De Qcast Connectivity Portal wordt periodiek uitgebreid om zo externe software uit te faseren.

Interactie

Zoals eerder is benoemd, is dit onderdeel van het CUBI-model niet relevant voor dit onderzoek. Daarom zal het ook niet ingevuld worden.

4.1.2 Meetbare zaken

Uit kort onderzoek naar wat te meten valt over een netwerk blijkt dat de volgende relevante zaken te meten zijn:

- **Netwerkverkeer per netwerkpoort:**
Op een netwerkkapparaat kan per netwerkpoort worden opgevraagd welk verkeer hier overheen gaat. Dit gaat per 'flow'. Een dergelijke flow bevat de volgende relevante informatie: start- en einddatum en tijd van de flow, IP-adres en poortnummer van de bron en bestemming van de flow, de index van de netwerkpoorten waarover de flow is binnengekomen en weer naar buiten is gegaan, de grootte van de flow in bytes, het aantal packets in de flow, de round-trip time van de flow en de jitter van de flow.
- **Statistieken per netwerkpoort:**
Op een netwerkkapparaat kan per netwerkpoort de volgende informatie opgevraagd worden: het maximale aantal in- en uitgaande bits per seconde wat de netwerkpoort ondersteunt, het aantal in- en uitgaande bytes wat in totaal over de netwerkpoort is gegaan en het aantal in- en uitgaande packets die gedropt zijn.
- **Statistieken per QoS-type per netwerkpoort:**
Dezelfde informatie als hierboven kan opgevraagd worden, maar dan opgesplitst per QoS-type (Quality of Service). Een QoS-type geeft aan welke prioriteit het netwerkverkeer krijgt wat binnen dit type valt, tot een bepaalde maximale bandbreedte. Dit netwerkverkeer wordt toegekend aan een QoS-type op basis van het poortnummer van de applicatie. De volgende QoS-typen zijn te onderscheiden:
 - **Prioriteit:** Applicaties die binnen dit type vallen krijgen altijd voorrang ten opzichte van andere applicaties. Er zit een limiet op de bandbreedte die bestemd is voor verkeer binnen dit type. Wanneer deze limiet bereikt is worden alle packets die over deze limiet heen gaan gedropt.
 - **Kritiek verkeer:** Netwerkverkeer van applicaties die binnen dit type vallen wordt als belangrijk ervaren, maar als minder belangrijk als verkeer binnen het 'prioriteit'-type. Aan dit type zit ook een limiet. Hierbij is het echter niet zo dat packets gedropt worden wanneer deze limiet is bereikt. Wanneer dit type de limiet bereikt, wordt de overige beschikbare bandbreedte benut.
 - **Overig:** Netwerkverkeer van applicaties die binnen dit type vallen, wordt behandeld als minst belangrijk. Dit verkeer benut de bandbreedte die over is op een netwerkpoort nadat het verkeer met de typen 'prioriteit' en 'kritiek verkeer' in die volgorde is afgehandeld.

4.1.3 Parameters

Om tot de lijst met parameters te komen die invloed hebben op de gebruikerservaring van een netwerk, is de invulling van het CUBI-model besproken met de bedrijfsbegeleider. Uit deze bespreking is gebleken dat het belangrijk is om rekening te houden met de verschillende applicatiesoorten en de datasoorten die deze met zich meebrengen. Er hoeft niet expliciet rekening gehouden te worden met de verschillende soorten gebruikers, aangezien dit al wordt gedaan door de verschillende datasoorten van elkaar te onderscheiden.

Een applicatie kan gekoppeld worden aan een poortnummer. Hierdoor kan voor een netwerkkapparaat per applicatie gekeken worden hoeveel netwerkverkeer voorkomt voor deze applicatie en hoe goed het netwerkkapparaat dit afhandelt. Packet drops komen voor wanneer een netwerkpoort op een netwerkkapparaat overbelast is. Applicaties die binnen QoS-typen met een hogere prioriteit vallen, krijgen in een dergelijke situatie voorrang. Wanneer packet drops voorkomen, presteert een netwerkkapparaat niet optimaal, wat over het algemeen afbreuk doet aan de gebruikerservaring. Er kan dus geconcludeerd worden dat het meten van het percentage packet drops centraal staat.

Uit voorgaande overwegingen is de onderstaande lijst met parameters voortgekomen. Deze parameters zijn van toepassing per netwerkkapparaat.

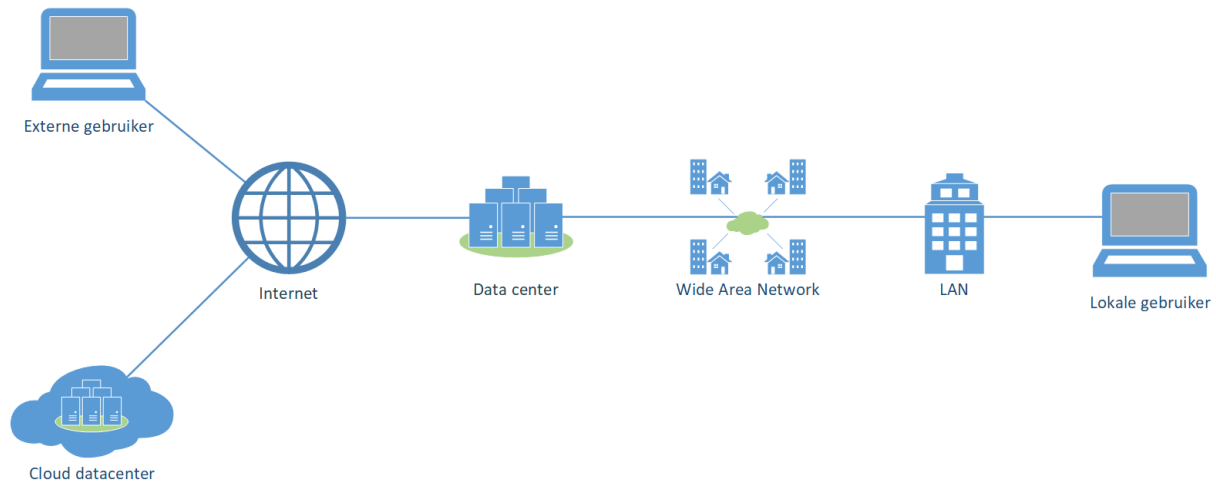
- **Packet drops ten opzichte van het totale aantal packets op netwerkpoorten in procenten:**
Wanneer packet drops aanwezig zijn op een netwerkpoort doet dit afbreuk aan de gebruikerservaring. Dit is de belangrijkste parameter in de lijst, omdat wanneer veel packet drops voorkomen op een netwerkpoort, programma's deze packets veelal opnieuw proberen te versturen, wat alleen zorgt voor nog meer netwerkverkeer. Wanneer de packet drops boven een bepaald percentage komen, is het aantal packets wat opnieuw wordt verzonden zo hoog, dat bijna geen netwerkverkeer meer door de netwerkpoort heen zal komen. Dit is zeer slecht voor de gebruikerservaring.
- **Procentuele belasting van beschikbare bandbreedte op netwerkpoorten in procenten:**
Door de belasting van de capaciteit van netwerkpoorten van een netwerkkapparaat te meten in procenten, kan gedetecteerd worden of er netwerkpoorten zijn die vol zitten en hoe groot het risico is dat de andere netwerkpoorten op het netwerkkapparaat volraken en daardoor packets te dropen. Om tot dit percentage te komen moet de huidige gebruikte bandbreedte gemeten worden. Daarnaast moet bepaald worden hoeveel bandbreedte de netwerkpoort maximaal aan kan.
- **Procentuele belasting van beschikbare bandbreedte voor een QoS-type op een netwerkpoort in procenten:**
Aangezien netwerkverkeer binnen een QoS-type met hoge prioriteit voorrang krijgt op netwerkverkeer wat hierbuiten valt, heeft dit effect een positieve invloed op de gebruikerservaring. Dit effect valt weg wanneer de bandbreedtelimiet van dit type bereikt wordt. Door te meten in welke mate de netwerkpoort wordt belast met netwerkverkeer wat binnen een QoS-type valt en dit te relateren aan het maximum voor dit QoS-type, kan gemeten worden of QoS-typen op netwerkpoorten over hun limiet heen zitten en groot het risico voor de overige QoS-typen is om deze limiet te bereiken.
- **Gemiddelde responsetijd in ms:**
Wanneer een netwerk er gemiddeld gezien lang over doet om het netwerkverkeer van een applicatie te verwerken, is dit direct te merken in de gebruikerservaring. Dit is vooral het geval bij applicaties waarbij de gebruiker snel resultaat verwacht nadat deze een actie uitvoert. Voorbeelden hiervan zijn het laden van een webpagina of het gebruiken van een VOIP-applicatie.
- **Jitter in procenten ten opzichte van de gemiddelde responsetijd:**
Jitter is de mate waarin de responsetijd van een netwerk varieert. Wanneer de gemiddelde responsetijd bijvoorbeeld 15ms is, maar dit soms kort oploopt tot 400ms, kan dit voor irritaties zorgen bij gebruikers.

4.2 Deelvraag 2

Deelvraag 2 luidt: “Hoe wordt de berekening ter beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk gevormd?”

4.2.1 Scope

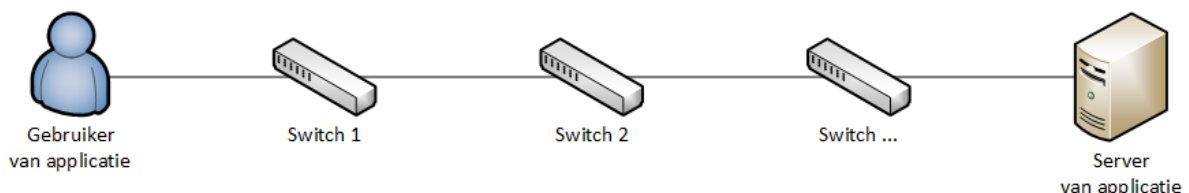
In Figuur 6 hieronder is de gehele netwerkinfrastructuur te zien die Qcast beheert voor zijn grootste klant.



Figuur 6: Totaaloverzicht van de netwerkinfrastructuur van de grootste klant van Qcast.

Deze netwerkinfrastructuur bevat twee soorten gebruikers, namelijk lokale gebruikers, welke zich binnen het beheerde netwerk bevinden, en externe gebruikers, welke zijn verbonden met het beheerde netwerk via het internet, bijvoorbeeld via een VPN-verbinding. Daarnaast bevat deze infrastructuur twee locaties waar applicatieservers aanwezig zijn, namelijk het datacenter binnen het netwerk en het virtuele datacenter in de cloud, welke bereikt wordt via het internet. Bij het beoordelen van de gebruikerservaring van een netwerk worden alle verbindingen die via het internet lopen buiten beschouwing gelaten. Dat wil zeggen dat externe gebruikers en het virtuele cloud datacenter buiten beschouwing gelaten worden en dus alleen wordt gekeken naar verbindingen tussen lokale gebruikers en het datacenter bij het beoordelen van de gebruikerservaring. Een netwerk wordt daarom voor de berekening ter beoordeling van de gebruikerservaring gedefinieerd als: “Alle netwerkswitches die zich bevinden op het netwerkp pad tussen een gebruiker en de applicatieservers van de applicaties die gemeten worden.” Voor dit onderzoek worden de applicaties beperkt tot Skype for Business, de Qcast Connectivity Portal en YouTube.

In Figuur 7 hieronder is de netwerkstructuur tussen een gebruiker en een applicatieserver in het datacenter weergegeven, zoals deze wordt aangenomen in dit onderzoek.



Figuur 7: Overzicht van de netwerkinfrastructuur tussen een gebruiker van een applicatie en de applicatieserver van deze applicatie.

Tussen de gebruiker van een applicatie en een applicatieserver zitten een aantal netwerkswitches. Mogelijk bevinden zich nog meer netwerkapparaten in deze infrastructuur. Deze worden echter buiten beschouwing gelaten in de beoordelingen van de gebruikerservaring. Wanneer de server van de applicatie zich op het internet bevindt, wordt de laatste netwerkswitch binnen het netwerk als ‘eindpunt’ van het netwerk gezien.

De gebruiker van de applicatie en de bijbehorende applicatieserver worden binnen de rest van dit onderzoek beschouwd als gegeven waarden, aangezien het onderzoeken van geschikte waarden hiervoor buiten de scope van het onderzoek valt.

4.2.2 Berekening

Onderdelen van de verschillende genoemde formules in deze deelparagraaf die omringd zijn door rechte haken, zijn constanten die in de volgende deelparagraaf vaste waarden krijgen. De beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk kan als volgt geformuleerd worden, waarbij de meest negatieve score 0 is en de meest positieve score 100 is:

$$\text{Gebruikerservaring netwerk} = \frac{\text{Som van gebruikerservaringen van gemeten applicaties op netwerk}}{\text{Aantal gemeten applicaties}}$$

Dit betekent dat de beoordelingen van alle gemeten applicaties even zwaar meewegen. Vanaf dit punt worden enkel netwerkpoorten in beschouwing genomen die het verkeer van de te meten applicatie behandelen. Binnen de gebruikerservaring van een applicatie op een netwerk geldt de volgende regel:

Als het % packet loss van de netwerkpoort met het hoogste % packet loss hoger is dan het [maximale acceptabele % packet loss] op een netwerkpoort wordt de gebruikerservaring van het netwerk voor deze applicatie beoordeeld met de score 0.

Deze regel geldt omdat wanneer de packet loss een bepaald percentage bereikt, er over het algemeen geen enkel verkeer meer door de netwerkpoort komt, wegens het aantal gefaalde pakketten wat opnieuw verzonden wordt door apparaten van gebruikers. Indien verkeer van een applicatie niet meer door een netwerkpoort kan, betekent dit dat alle gebruikers van de applicatie die deze netwerkpoort op hun netwerkroute hebben, geen gebruik meer kunnen maken van de applicatie. Dit is een dusdanig groot probleem dat wanneer dit voorkomt, de gebruikerservaring van de gehele applicatie de score 0 als beoordeling krijgt.

Met deze regel in werking kan de gebruikerservaring van een applicatie als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Gebruikerservaring van een applicatie op een netwerk} = \frac{\text{Score packet loss} \times 50 + \text{Score bandbreedte} \times 30 + \text{Score responsetijd/jitter} \times 20}{100}$$

Dit betekent dat packet loss de belangrijkste parameter is, met daarna bandbreedte en ten slotte responsetijd samen met jitter.

De score van packet loss kan als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Score packet loss} = 100 - \frac{\text{Packet loss van de netwerkpoort met de hoogste packet loss in \%}}{[\text{maximale acceptabele \% packet loss}]} \times 100$$

Dit betekent dat wanneer op geen enkele netwerkpoort packet loss voorkomt, de packet loss voor deze applicatie een score van 100 toegewezen krijgt. Wanneer er wel packet loss voorkomt, wordt de score gebaseerd op de netwerkpoort die het slechtst presteert. Dit is zoals eerder gezegd het geval om de reden dat al het applicatieverkeer wat over deze netwerkpoort heen moet, last heeft van deze packet loss.

De score van de bandbreedte van een netwerk voor een applicatie kan als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Score bandbreedte} = \frac{\text{Laagst gemeten score bandbreedte netwerkpoort} \times [\text{weging score bandbreedte netwerkpoort}] + \text{Laagst gemeten score bandbreedte QoS type netwerkpoort} \times [\text{weging score bandbreedte QoS type netwerkpoort}]}{100}$$

De score van de bandbreedte van een netwerkpoort en de score van de bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort hebben ten opzichte van elkaar een verschillende weging voor verschillende applicaties. Dit is afhankelijk van het QoS-type waar de applicatie onder draait. Voor de bandbreedte wordt uitgegaan van de laagst gemeten score, aangezien de netwerkpoort met deze score de grootste kans heeft om een knelpunt te veroorzaken voor het netwerkverkeer van een applicatie.

De weging van de onderdelen van de score van de bandbreedte is afhankelijk van het QoS-type waar de applicatie binnen valt. Voor het 'prioriteit'-type is bijvoorbeeld enkel de score van de bandbreedte van het QoS-type van toepassing, terwijl bij het 'kritiek verkeer'-type ook de bandbreedte van de totale netwerkpoort een rol speelt.

De score van de bandbreedte van een netwerkpoort of de bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort kan als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Score bandbreedte (binnen of buiten QoS type) netwerkpoort} = \left(\frac{\text{Maximaal mogelijke bandbreedte} - \text{Huidige bandbreedte}}{[\text{Minimaal beschikbare bandbreedte voor probleemloos functioneren}]} \right)^* \times 100$$

** = Wanneer deze waarde hoger is dan 1, wordt hier 1 voor aangenomen.*

Per netwerkpoort wordt de maximaal mogelijke bandbreedte gemeten. Bij een QoS-type is de maximaal mogelijke bandbreedte gedefinieerd in het type. Daarnaast wordt een minimale beschikbare bandbreedte gedefinieerd, vanaf welke een netwerkpoort geen gevaar loopt om tegen problemen aan te lopen. Met deze parameters kan bepaald worden hoe ver de huidige bandbreedte op de schaal ligt tussen de maximale probleemloze bandbreedte en de maximaal mogelijke bandbreedte. Hoe verder de huidige bandbreedte richting de maximaal mogelijke waarde komt, hoe lager de score van de bandbreedte wordt. Wanneer de bandbreedte onder de maximale probleemloze bandbreedte ligt, is de score van de bandbreedte altijd 100.

De score van de responsetijd/jitter kan als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Score responsetijd/jitter} = \frac{\text{Score responsetijd} \times [\text{weging score responsetijd}] + \text{Score jitter} \times [\text{weging score jitter}]}{100}$$

De onderlinge weging van de score van responsetijd en de score van jitter verschillen per applicatie, aangezien bij sommige applicaties een hoge responsetijd grotere problemen kan geven dan bij anderen. Hetzelfde geldt voor jitter. De score van responsetijd kan als volgt geformuleerd worden:

$$\text{Score responsetijd} = 100 - \left(\frac{\text{Gemiddelde responsetijd} - [\text{Ideale responsetijd}]}{[\text{Maximaal toegestane responsetijd}] - [\text{Ideale responsetijd}]} \right)^* \times 100$$

** = Wanneer deze waarde lager is dan 0, wordt hier 0 voor aangenomen en wanneer deze waarde hoger is dan 1, wordt hier 1 voor aangenomen.*

De score van de responsetijd wordt bepaald door de gemiddelde responsetijd over een vijftal metingen, samen met de nader vast te stellen ideale responsetijd en maximaal toegestane responsetijd voor een applicatie. Met deze parameters kan bepaald worden waar de gemiddelde responsetijd ligt op de schaal tussen de ideale responsetijd en de maximaal toegestane responsetijd. Indien de gemiddelde responsetijd lager is dan de ideale responsetijd, is de score van de responsetijd altijd 100. Indien de gemiddelde responsetijd hoger is dan de maximaal toegestane responsetijd is de score van de responsetijd altijd 0. De score van jitter kan als volgt geformuleerd worden:

$$Score\ jitter = 100 - \left(\frac{Grootste\ afwijking\ van\ de\ gemiddelde\ responsetijd}{[Maximaal\ toegestane\ afwijking\ van\ de\ gemiddelde\ responsetijd]} \right)^* \times 100$$

* = Wanneer deze waarde hoger is dan 1, wordt hier 1 voor aangenomen.

De grootste afwijking ten opzichte van de gemiddelde responsetijd wordt gebruikt om de score van jitter te bepalen. Deze wordt vergeleken met de maximale toegestane afwijking van de gemiddelde responsetijd die een score oplevert. Wanneer de gemeten afwijking hoger is dan de maximale afwijking die een score oplevert, is de score van jitter 0.

Bovenstaande formules en overwegingen resulteren in de volgende formules:

$$UX_{network} = \frac{UX_{app1} + UX_{app2} + UX_{app3}}{3}$$

$$UX_{app}(a > C1) = 0$$

$$UX_{app}(a \leq C1) = \left(100 - \frac{a}{C1} \times 100 \right) \times 0.5 + \left(\left(\left(\frac{c-b}{C2} \right)^{[1]} \times 100 \right)^{[3]} \times C3 + \left(\left(\frac{e-d}{C4} \right)^{[1]} \times 100 \right)^{[3]} \times C5 \right) \times 0.3 + \left(\left(100 - \left(\frac{f-C6}{C7-C6} \right)^{[1][2]} \times 100 \right) \times C8 + \left(100 - \left(\frac{g}{C9} \right)^{[1]} \times 100 \right) \times C10 \right) \times 0.2$$

[1] = Indien hoger dan 1, neem 1 aan.

[2] = Indien lager dan 0, neem 0 aan.

[3] = Uitgevoerd voor iedere relevante netwerkpoort. De laagst gevonden waarde wordt gebruikt.

De variabelen a t/m g en constanten C1 t/m C10 staan voor het volgende:

- a = Packet loss van de netwerkpoort met de hoogste packet loss in %
- b = Huidige bandbreedte van een netwerkpoort
- c = Maximaal mogelijke bandbreedte van een netwerkpoort
- d = Huidige bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort
- e = Maximaal ondersteunde bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort
- f = Gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en server over 5 metingen
- g = Maximale procentuele afwijking van de gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en server over 5 metingen

- C1 = Maximale acceptabele packet loss van een netwerkpoort in %
- C2 = Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een netwerkpoort in kbit/s
- C3 = Weging van de bandbreedte van een netwerkpoort in %
- C4 = Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een QoS-type op een netwerkpoort in kbit/s
- C5 = Weging van de bandbreedte van het QoS-type van een netwerkpoort in %
- C6 = Ideale responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms
- C7 = Maximale toegestane responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms
- C8 = Weging van de responsetijd in %
- C9 = Maximale afwijking van de gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms
- C10 = Weging van de jitter in %

4.2.3 Constanten

In de vorige deelparagraaf zijn een aantal constanten benoemd. Deze constanten zullen worden ingevuld per gekozen applicatie, namelijk YouTube, Skype for Business en de Qcast Connectivity Portal. De berekeningen voor deze applicaties vormen samen de berekening ter beoordeling van een netwerk. Er is gekozen voor deze applicaties, omdat ze alle drie binnen een verschillend QoS-type vallen binnen de netwerken van Qcast.

VOIP – Skype for Business ('prioriteit'-type)

Voor goede prestaties moet de packet loss van een VOIP-verbinding via Skype for Business met 1 ander persoon niet hoger zijn dan 1% (Smith & Thomas, 2018).

De bandbreedte van een netwerkpoort is niet relevant voor Skype for Business. Qcast rekent VOIP-verkeer namelijk onder het 'prioriteit'-type. De weging van de bandbreedte van de netwerkpoort wordt daardoor 0% en de weging van de bandbreedte van een QoS-type 100%. De beschikbare bandbreedte die minimaal benodigd is binnen dit QoS-type om probleemloos te functioneren staat gelijk aan de bandbreedte die tien bellers samen nodig hebben. Een enkele beller heeft een bandbreedte van 130kbps nodig (Birkinshaw, Shommo, & Rowe, 2018). Daarom moet 1300kbps vrij zijn binnen het 'prioriteit'-type voor een maximale score.

Onder responsetijd wordt hier de totale tijd verstaan die het duurt om data te verzenden en data terug te ontvangen, uitgezonderd alles wat zich buiten het netwerk afspeelt. Om binnen de mogelijkheden van het eigen netwerk een ideale gebruikerservaring te kunnen bieden, is een responsetijd van maximaal 40ms benodigd (Smith & Thomas, 2018). De maximale toegestane responsetijd is 80ms. Dit is twee keer zoveel dan de ideale responsetijd. De maximale toegestane jitter is 30ms. Dit is twee keer zoveel dan is aanbevolen door Microsoft. Veel jitter zorgt voor aanzienlijk meer irritaties bij gebruikers dan een constante hogere responsetijd. Daarom is de weging van jitter 70% en die van responsetijd 30%. Samengevat gelden voor Skype for Business de volgende waarden voor de constanten:

Tabel 3: Constanten voor Skype for Business.

Constante	Waarde
Maximale acceptabele packet loss van een netwerkpoort in %	1%
Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een netwerkpoort in kbit/s	0kbps (n.v.t.)
Weging van de bandbreedte van een netwerkpoort in %	0%
Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een QoS-type op een netwerkpoort in kbit/s	1300kbps
Weging van de bandbreedte van de QoS-type van een netwerkpoort in %	100%
Ideale responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	40ms
Maximale toegestane responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	80ms
Weging van de responsetijd in %	30%
Maximale afwijking van de gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	30ms
Weging van de jitter in %	70%

Dit resulteert in de volgende (deels vereenvoudigde) berekening:

$$UX_{app1}(a \leq C1) = (100 - a \times 100) \times 0.5 + \left(\left(\frac{e-d}{1300} \right)^{[1]} \times 100 \right)^{[3]} \times 0.3 + \left(\left(100 - \left(\frac{f-40}{40} \right)^{[1][2]} \times 100 \right) \times 0.3 + \left(100 - \left(\frac{g}{30} \right)^{[1]} \times 100 \right) \times 0.7 \right) \times 0.2$$

Webapplicaties – Qcast connectivity portal ('kritiek verkeer'-type)

Voor webapplicaties is het belangrijk dat alle packets uiteindelijk aankomen bij de gebruiker. Als namelijk iets ontbreekt in de inhoud die de browser moet verwerken, kan de gebruiker een hele andere website te zien krijgen dan de bedoeling is en kunnen zaken niet meer werken. Daarom wordt gebruik gemaakt van het TCP-protocol, waarbij in het geval van packet loss de gedropte packets opnieuw worden verstuurd. Het is dus belangrijk dat de packet loss laag is, om nog meer extra verkeer te voorkomen. Het maximale percentage packet loss, waarbij nog een acceptabele hoeveelheid verkeer door een netwerkpoort komt, wordt gesteld op 8%.

Zowel de bandbreedte van de netwerkpoort als die van het QoS-type op deze poort zijn relevant voor webapplicaties, aangezien wanneer de limiet voor het QoS-type is bereikt, de overige bandbreedte van de netwerkpoort gebruikt kan worden. Binnen het QoS-type kan echter prioriteit gegarandeerd worden, wat goed is voor de prestaties van het netwerk. Door deze overwegingen is de weging van de netwerkpoort 30% en de weging van het QoS-type 70%. Een pagina van de Qcast Connectivity Portal is ongeveer 1MB groot. 40% van de gebruikers van websites en webapplicaties verlaten deze wanneer de laadtijd langer is dan drie seconden (Gardner, 2011). Gebruikers van de Qcast Connectivity Portal zullen dit niet snel doen, omdat ze deze applicatie specifiek nodig hebben, maar het geeft wel een indicatie van laadtijden die irritaties op kunnen leveren bij gebruikers. Om rekening te houden met de responsetijd, wordt hier een maximale probleemloze laadtijd van 2.5 seconden aangenomen. Dit betekent dat een minimale netwerkverbinding van 3200kbps nodig is per persoon die tegelijk de Qcast Connectivity Portal gebruikt. Er wordt vanuit gegaan dat het gewenst is om ruimte te hebben voor drie nieuwe verbindingen naar de Qcast Connectivity Portal binnen een QoS-type, wat gelijk staat aan 9600kbps en vijf nieuwe verbindingen naar de Qcast Connectivity Portal binnen een netwerkpoort, wat gelijk staat aan 16000kbps.

Onder responsetijd wordt hier de totale tijd verstaan die het duurt om data te verzenden en data terug te ontvangen, uitgezonderd de tijd die de webserver bezig is om het verzoek van een gebruiker te verwerken. Aangezien bij de bandbreedte een marge is genomen van 500ms voor de responsetijd, om onder de drie seconden te blijven, is dit het maximum wat wordt toegestaan. De ideale responsetijd wordt gesteld op 100ms. Jitter is niet zeer van belang, maar het is toch gewenst dat deze niet te hoog wordt, omdat de gebruiker uit wil kunnen gaan van een vaste tijd dat het duurt voor deze weer kan gaan klikken. Daarom wordt deze vrij hoog, maar niet zeer hoog gesteld, op maximaal 200ms. Aangezien jitter minder van belang is als responsetijd, is de weging van responsetijd 70% en die van jitter 30%. Samengevat gelden voor webapplicaties de volgende waarden voor de constanten:

Tabel 4: Constanten voor webapplicaties.

Constante	Waarde
Maximale acceptabele packet loss van een netwerkpoort in %	8%
Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een netwerkpoort in kbit/s	16000kbps
Weging van de bandbreedte van een netwerkpoort in %	30%
Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een QoS-type op een netwerkpoort in kbit/s	9600kbps
Weging van de bandbreedte van het QoS-type van een netwerkpoort in %	70%
Ideale responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	100ms
Maximale toegestane responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	400ms
Weging van de responsetijd in %	70%
Maximale afwijking van de gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	200ms
Weging van de jitter in %	30%

Dit resulteert in de volgende (deels vereenvoudigde) berekening:

$$UX_{app2}(a \leq C1) = \left(100 - \frac{a}{8} \times 100\right) \times 0.5 + \left(\left(\left(\frac{c-b}{16000} \right)^{[1]} \times 100 \right)^{[3]} \times 0.3 + \left(\left(\frac{e-d}{9600} \right)^{[1]} \times 100 \right)^{[3]} \times 0.7 \right) \times 0.3 + \left(\left(100 - \left(\frac{f-100}{300} \right)^{[1][2]} \times 100 \right) \times 0.7 + \left(100 - \left(\frac{g}{200} \right)^{[1]} \times 100 \right) \times 0.3 \right) \times 0.2$$

Videodienst – YouTube ('overig'-type)

Net als bij de Qcast Connectivity Portal, wordt met YouTube verbonden door middel van het TCP-protocol, waarbij packet loss al snel een hoge impact heeft op de prestaties en daarmee de gebruikerservaring van het netwerk. De kwaliteit van de video zelf leidt weinig door het ontbreken van een aantal packets, dus hoeft alleen rekening gehouden te worden met het percentage packet loss dat een probleem vormt voor het doorkomen van al het verkeer naar YouTube, namelijk 8%.

De bandbreedte van het QoS-type is niet relevant voor YouTube, omdat deze in het 'overig'-type valt en daarmee enkel toegang heeft tot de resterende bandbreedte op een netwerkpoort. Daardoor is de weging van het QoS-type 0% en die van de gehele netwerkpoort 100%. Uitgaande van een HD (720p) resolutie, is een bandbreedte van 2500kbps vereist (Google, z.d.). Er wordt gesteld dat het gewenst is om ruimte te hebben voor drie HD videodownloads vanuit YouTube binnen een netwerkpoort, wat gelijk staat aan 7500kbps.

Een hoge responsetijd zorgt ervoor dat een video er lang over doet om te beginnen met afspelen. Daarna heeft dit geen effect meer, gezien het feit dat video's gebufferd worden. Om dezelfde reden speelt jitter helemaal geen rol. Als de responsetijd opeens hoog is, wordt de video verder afgespeeld vanuit de buffer. Daardoor is de weging van de responsetijd 100% en die van jitter 0%. De responsetijd is ideaal als het overbrengen van delen van de video niet langer duurt dan 100ms, aangezien de video dan snel start. Vanaf 1000ms kunnen gebruikers irritaties gaan merken. Samengevat gelden voor YouTube de volgende waarden voor de constanten:

Tabel 5: Constanten voor YouTube.

Constante	Waarde
Maximale acceptabele packet loss van een netwerkpoort in %	8%
Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een netwerkpoort in kbit/s	7500kbps
Weging van de bandbreedte van een netwerkpoort in %	100%
Minimale beschikbare bandbreedte voor het probleemloos functioneren van een QoS-type op een netwerkpoort in kbit/s	0 (n.v.t.)
Weging van de bandbreedte van het QoS-type van een netwerkpoort in %	0%
Ideale responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	100ms
Maximale toegestane responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	1000ms
Weging van de responsetijd in %	100%
Maximale afwijking van de gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en laatste netwerkapparaat binnen het netwerk in ms	0 (n.v.t.)
Weging van de jitter in %	0%

Dit resulteert in de volgende (deels vereenvoudigde) berekening:

$$UX_{app3}(a \leq C1) = \left(100 - \frac{a}{8} \times 100\right) \times 0.5 + \left(\left(\frac{c-b}{7500} \right)^{[1]} \times 100 \right)^{[3]} \times 0.3 + \left(100 - \left(\frac{f-100}{900} \right)^{[1][2]} \times 100 \right) \times 0.2$$

4.3 Deelvraag 3

Deelvraag 3 luidt: “Hoe kunnen de variabelen van de berekening worden gemeten?”

4.3.1 Technieken

Allereerst zal Flexible NetFlow gebruikt worden. Dit is een techniek die data over al het netwerkverkeer op een netwerkswitch registreert en dit doorstuurt naar een IP-adres. Dit netwerkverkeer wordt geregistreerd in de vorm van flows, welke eerder al genoemd zijn in deelparagraaf 4.1.2. Deze techniek is enkel beschikbaar op Cisco-apparaten. Dit vormt echter geen belemmering, aangezien Qcast op moment van schrijven enkel met Cisco netwerkswitches werkt. Om de NetFlow data te registreren, moet op het apparaat waar deze data naartoe wordt gestuurd actief geluisterd worden. Hiervoor kan de applicatie nfcapd (netflow capture daemon) gebruikt worden. Nfcapd vangt de data op en slaat deze op in bestanden in verschillende mappen per netwerkswitch. Vervolgens kan de data geformatteerd worden door middel van nfdump. Deze geformatteerde data is bruikbaar voor een applicatie om hier handelingen op uit te voeren. Nfcapd en nfdump horen bij hetzelfde softwarepakket.

Daarnaast zal SNMP gebruikt worden. SNMP is een protocol waarmee waarden uit een netwerkapparaat opgevraagd kunnen worden en waarden in een netwerkapparaat opgeslagen kunnen worden. Binnen dit onderzoek hoeft enkel data opgevraagd te worden. Een gemakkelijke omschrijving van het bijbehorende proces is dat een applicatie data opvraagt door een OID (Object Identifier) te sturen naar een netwerkapparaat en het netwerkapparaat de hierbij horende data terugstuurt. Een OID een reeks aan getallen die binnen een hiërarchische structuur vallen. Neem bijvoorbeeld het OID “1.3.6.1.2.1.1”. Binnen dit OID vallen alle OID’s die iets over het systeem zeggen, zoals “1.3.6.1.2.1.1.5”, namelijk de naam van het systeem. Soms zijn OID’s variabel, zoals het geval is bij het OID “1.3.6.1.2.1.2.2.1.5”. Dit geeft een lijst terug met voor iedere netwerkpoort in het systeem de maximale bandbreedte. De bijbehorende OID’s worden zo weergegeven: “1.3.6.1.2.1.2.2.1.5.[index netwerkpoort]”.

4.3.2 Meetwijze per variabele

De variabelen hebben een ‘meetinterval’ nodig. Dit is de tijd die tussen de verschillende meetmomenten zit. Dit meetinterval is variabel, aangezien dit wordt beïnvloed door de computerkracht die de metende applicatie ter beschikking heeft.

Bepalen van de netwerkpoorten

Eerst moet bepaald worden over welke netwerkpoorten van welke netwerkswitches het relevante verkeer gaat. Voor een applicatie wordt aangenomen dat deze gebruik maakt van één poortnummer. Het IP-adres van de gebruiker wordt als aangenomen beschouwd. Door de NetFlow data binnen het meetinterval te filteren op binnenkomend verkeer met het poortnummer van de applicatie en het IP-adres van de gebruiker, kan dit als startpunt worden gezien voor het bepalen van de relevante netwerkpoorten. De bij deze flows horende uitgaande IP-adressen worden vervolgens gescand op vergelijkbaar verkeer. Van iedere unieke netwerkpoort die wordt behandeld, wordt de index bewaard. Dit proces wordt herhaald totdat de keten is doorlopen en geen nieuwe netwerkpoorten meer worden gevonden.

Variabelen meten

Per variabele staat genoteerd welke stappen doorlopen moeten worden om tot een waarde te komen. Bij deze stappen wordt aangenomen dat de index van de netwerkpoort al is opgehaald met het OID "1.3.6.1.2.1.2.2.1.2". Voor iedere netwerkpoort wordt een regel teruggegeven. De index van de netwerkpoort wordt aan het OID toegevoegd en de omschrijving van de netwerkpoort wordt als waarde teruggegeven.

A = Packet loss van de netwerkpoort met de hoogste packet loss in %

Voor iedere netwerkpoort:

1. Het totale aantal verloren packets bepalen door de waarden van onderstaande OID's op te tellen:
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.13.[netwerkpoort index] = Inkomende afgewezen packets
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.14.[netwerkpoort index] = Inkomende packets met fouten
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.19.[netwerkpoort index] = Uitgaande afgewezen packets
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.20.[netwerkpoort index] = Uitgaande packets met fouten
2. Het totale aantal verloren packets binnen het meetinterval berekenen door het vorige gemeten aantal af te trekken van het huidige gemeten aantal.
3. Het totale aantal packets berekenen door de waarden van onderstaande OID's op te tellen:
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.11.[netwerkpoort index] = Inkomende 'normale' packets
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.12.[netwerkpoort index] = Inkomende multicast of broadcast packets
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.17.[netwerkpoort index] = Uitgaande 'normale' packets
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.18.[netwerkpoort index] = Uitgaande multicast of broadcast packets
4. Het totale aantal packets binnen het meetinterval berekenen door het vorige gemeten aantal af te trekken van het huidige gemeten aantal.
5. Het percentage packet loss berekenen door het totale aantal verloren packets binnen het meetinterval te delen door het totale aantal packets binnen het meetinterval en dit te vermenigvuldigen met 100.

Daarna:

6. Het hoogst gemeten percentage selecteren.

B = Huidige bandbreedte van een netwerkpoort

1. Het totale aantal verwerkte bytes ophalen door de waarden van onderstaande OID's op te tellen:
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.10.[netwerkpoort index] = Inkomende bytes
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.16.[netwerkpoort index] = Uitgaande bytes
2. Het totale aantal verwerkte bits bepalen door het totale aantal verwerkte bytes te delen door 8.
3. Het totale aantal verwerkte bits binnen het meetinterval berekenen door het vorige gemeten aantal af te trekken van het huidige gemeten aantal.
4. De huidige bandbreedte van een netwerkpoort berekenen door het totale aantal verwerkte bits binnen het meetinterval te delen door het aantal seconden dat het meetinterval duurt.

C = Maximaal mogelijke bandbreedte van een netwerkpoort

1. De maximaal mogelijke bandbreedte van een netwerkpoort ophalen door middel van het volgende OID:
 - 1.3.6.1.2.1.2.2.1.5.[netwerkpoort index] = Maximaal ondersteunde snelheid van een netwerkpoort in bps (lager maximum).
2. Indien deze waarde het maximum is, namelijk 4.294.967.295, gebruik dan de waarde van de volgende OID en vermenigvuldig deze met 1.000.000:
 - 1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.15.[netwerkpoort index] = Maximaal ondersteunde snelheid van een netwerkpoort in mbps (hoger maximum).

D = Huidige bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort

1. De QoS-config index van het juiste QoS-type (prioriteit, kritiek verkeer of overige) bepalen door middel van het volgende OID:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.7.1.1.1.[QoS-config index] = Naam van een QoS-type
2. De indexen van de in- en uitgaande QoS-profielen ophalen met het volgende OID:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.1.1.1.4.[QoS-profiel index] = Netwerkpoort index

Voor ieder relevant QoS-profiel:

1. Het QoS-object indexen die de relatie tussen de het QoS-profiel en het QoS-type aanduiden ophalen met het volgende OID:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.2.[QoS-profiel index].[QoS-object index] = QoS config index
2. Het totale aantal verwerkte bytes ophalen door middel van het volgende OID:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.15.1.1.9.[QoS-object index] = Totale aantal verwerkte bytes
3. Het totale aantal verwerkte bits bepalen door het totale aantal verwerkte bytes te delen door 8.
4. Het totale aantal verwerkte bits binnen het meetinterval berekenen door het vorige gemeten aantal af te trekken van het huidige gemeten aantal.
5. De huidige bandbreedte van een QoS-profiel berekenen door het totale aantal verwerkte bits binnen het meetinterval te delen door het aantal seconden dat het meetinterval duurt.

E = Maximaal ondersteunde bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort

1. Stap 1 en 2 volgen van variabele d

Voor ieder relevant QoS-profiel

2. Stap 3 volgen van variabele d
3. De QoS-object indexen bepalen van de QoS-objecten die het gevonden QoS-object als ouderobject hebben met het volgende OID:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.4.[QoS-profiel index].[QoS-kindobject index] = QoS-ouderobject index
4. De gevonden QoS-kindobjecten filteren tot het object met type 4 (queueing) overblijft met het volgende OID:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.3.[QoS-profiel index].[QoS-kindobject index] = QoS-object type
5. De maximale ondersteunde bandbreedte van een QoS-type op een netwerkpoort bepalen door middel van de volgende OID's:
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.9.1.1.1.[QoS-queueing-object index] = Beschikbare bandbreedte
 - 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.9.1.1.2.[QoS-queueing-object index] = Grootte beschikbare bandbreedte (kbps, procenten van totale bandbreedte, etc.).

f = Gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en server over 5 metingen

1. De binnengekomen NetFlow data van de eerste netwerkswitch in het netwerkpad tussen gebruiker en server wordt gefilterd op het IP-adres van de gebruiker en het poortnummer van de te meten applicatie. Daarnaast moet de datum binnen het meetinterval vallen
2. Indien 5 of minder flows overblijven, worden alle gevonden flows geselecteerd. Anders worden 5 willekeurige flows uit de gevonden flows geselecteerd.
3. Voor de flows wordt het gemiddelde van de gevonden 'round-trip time'-waarden genomen.

G = Maximale procentuele afwijking van de gemiddelde responsetijd van een verbinding tussen gebruiker en server over 5 metingen

1. Stap 1 volgen van variabele f
2. Dezelfde flows selecteren als bij variabele f zijn genomen.
3. Voor de flows wordt het gemiddelde van de gevonden 'jitter'-waarden genomen.

Hoofstuk 5: Discussie

5.1 Deelvraag 1

Deelvraag 1 luidt: “Welke parameters hebben invloed op de gebruikerservaring van een netwerk?”

5.1.1 Analyse

De aspecten van het CUBI-model die in het theoretisch kader zijn omschreven en aangemerkt als relevant worden in deze deelvraag ingevuld en bieden inzicht in de eisen van gebruikers aan het netwerk en wat Qcast graag wil aanbieden. Hieruit blijkt dat voor verschillende applicaties, verschillende eisen kunnen gelden aan een netwerk en dat Qcast proactief in wil spelen op ontwikkelingen en mogelijke problemen bij een klant of binnen een netwerk. De invulling van het CUBI-model is valide, omdat deze voortkomt uit interviews met de bedrijfsbegeleider van dit onderzoek. Deze heeft veel kennis van alle aspecten binnen het bedrijf, heeft in samenwerking met de mede-eigenaar van Qcast het beleid van het bedrijf bepaald en heeft samen met de klanten van Qcast de SLA's opgesteld.

De gevonden meetbare zaken zijn voornamelijk van toepassing per netwerkkapparaat. Hierdoor bieden ze nog geen totaalbeeld van een netwerk. Hetzelfde geldt voor de gevonden parameters. Voor de gevonden parameters geldt dat packet drops centraal staan bij het bepalen van de gebruikerservaring van een netwerk. In de resultaten van de volgende deelvraag zal het combineren van de parameters naar voren komen, waardoor ook het Software Defined Networking principe meer naar voren zal komen. De gevonden meetbare zaken zijn valide, omdat deze in een experiment daadwerkelijk zijn gemeten op netwerkkapparaten binnen een netwerk wat beheerd wordt door Qcast. Qcast gebruikt voor de meeste netwerken maar een kleine selectie aan verschillende apparaatmodellen. De metingen zijn gelukt op de twee modellen die het meest voorkomen. Dit biedt geen garantie ze op andere modellen ook lukken, maar het toont wel aan dat voldoende onderdelen gemeten kunnen worden van de netwerken die Qcast beheert.

De gevonden parameters zijn valide voor Qcast, omdat deze zijn vastgesteld op basis van de invulling van het CUBI-model en de gevonden meetbare zaken. De parameters zijn opgesteld in overleg met de bedrijfsbegeleider. Het is echter niet te garanderen dat de gevonden parameters de enige parameters zijn die invloed hebben op de gebruikerservaring van een netwerk, net als dat niet direct is aangetoond dat de gevonden parameters significant zijn.

5.1.2 Beperkingen en aanbevelingen

De gevonden parameters zijn specifiek van toepassing op Qcast en zijn huidige klanten. In de toekomst kunnen ontwikkelingen plaatsvinden in het kennisdomein ‘netwerken’ die ervoor zorgen dat er andere eisen komen aan netwerken. Door deze veranderingen kunnen ook de eisen aan een ‘gebruiksvriendelijk’ netwerk veranderen.

De verschillende authenticatieprofielen die gelden voor de verschillende soorten gebruikers vallen voor nu buiten de scope van het meten van de gebruikerservaring van een netwerk, maar kunnen in de toekomst wel een rol gaan spelen. Ze hebben namelijk wel invloed op de veiligheid van een netwerk. Qcast beheert netwerken in een aantal fabrieken. Hierin staan machines van verschillende fabrikanten. De meesten hiervan hebben een netwerkverbinding nodig, zodat fabrikanten van afstand ondersteuning kunnen geven op deze apparaten. Het is belangrijk dat deze apparaten geen toegang hebben tot meer apparaten binnen een netwerk dan strikt noodzakelijk is. Als hier niet aan voldaan wordt kan dit op directe of indirecte wijze afbreuk doen aan de gebruikerservaring van een netwerk. Om deze reden wordt aanbevolen om in de toekomst meer aandacht te besteden aan authenticatieprofielen en hoe deze binnen het bepalen van de gebruikerservaring van een netwerk vallen.

5.2 Deelvraag 2

Deelvraag 2 luidt: “Hoe wordt de berekening ter beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk gevormd?”

5.2.1 Analyse

De berekening met bijbehorende constanten, zoals deze zijn gedefinieerd, zijn voor dit onderzoek als valide te beschouwen. Aangezien de resultaten zijn bepaald door middel van interviews met de bedrijfsbegeleider, zijn de specifieke wensen van Qcast en zijn klanten hierin vertegenwoordigd. Het is echter niet zo dat de gevonden resultaten algemeen gelden voor ieder netwerk in ieder bedrijf. Andere bedrijven en daarmee andere klanten kunnen hele andere applicaties en apparatuur gebruiken, waardoor de gevonden resultaten hier niet op van toepassing zijn.

De gevonden resultaten sluiten goed aan bij het onderdeel ‘Software Defined Networking’ uit het theoretisch kader. De applicatie die met behulp van de resultaten dit onderzoek ontwikkeld zal worden, zal functioneren binnen de beheerlaag van het Software Defined Networking principe. Binnen dit principe wordt een netwerk via de beheerlaag namelijk behandeld als een keten waarin verschillende apparaten met elkaar samenwerken, in plaats van als een verzameling losse apparaten. Binnen deze deelvraag is dit ook het geval. Al snel wordt in de resultaten duidelijk dat het netwerk als een geheel moet functioneren. Dit betekent dat ieder apparaat in de keten goede prestaties moet leveren om tot een goede gebruikerservaring te komen en dat het dus belangrijk is dat er geen bottlenecks ontstaan.

5.2.2 Beperkingen en aanbevelingen

Bij het bepalen van de scope van de berekening een aantal zaken bewust buiten deze scope gelaten. Allereerst wordt het ‘netwerk’ gedefinieerd als: “Alle netwerkswitches die zich bevinden op het netwerkpad tussen een gebruiker en de applicatieservers van de applicaties die gemeten worden.” Hierbij wordt dus rekening gehouden met één gebruiker. De kans is echter groot dat binnen de beheerde netwerkinfrastructuur meer gebruikers van dezelfde applicatie voorkomen, die vaak deels van dezelfde netwerkpoorten gebruik maken. De definitie van ‘netwerk’ zou daarom in de toekomst uitgebreid kunnen worden om meerdere gebruikers tegelijk mee te nemen.

Daarnaast is binnen de scope enkel rekening gehouden met netwerkswitches. Er kunnen echter ook andere netwerkapparaten voorkomen tussen een gebruiker en een applicatieserver. Zo verbinden draadloze gebruikers via een Wireless Access Point met het netwerk. In de toekomst zouden deze apparaten ook meegenomen kunnen worden.

Daarbij hebben de wegingen van de drie te onderscheiden onderdelen van de berekening, namelijk packet loss, bandbreedte en responsetijd/jitter, vaste waarden. Dit is gedaan om voor nu het geheel niet te complex te maken, maar in de toekomst kan het nuttig zijn om deze wegingen ook anders te maken per applicatie, aangezien tijdens de invulling van het CUBI-model in deelvraag 1 is gebleken dat verschillende applicaties verschillende eisen hebben.

Ten slotte is dit onderzoek vanzelfsprekend slechts gericht op de drie uitgekozen applicaties. Er zijn echter eindeloos veel applicaties waarop de gevonden berekening toegepast kan worden. Daarom kan het nuttig zijn om in de toekomst in een softwaretoepassing van dit onderzoek, het toevoegen van extra applicaties met invulbare constanten mogelijk te maken.

5.3 Deelvraag 3

Deelvraag 3 luidt: “Hoe kunnen de variabelen van de berekening worden gemeten?”

5.3.1 Analyse

De resultaten van deze deelvraag zijn tot stand gekomen door middel van deskresearch. Door middel van informatie die via het internet en de bedrijfsbegeleider is verkregen zijn de te gebruiken technieken bepaald. Met deze technieken is alle informatie te meten die benodigd is om waarden aan de variabelen van de berekening te koppelen. Dit is getest en bevestigd door de bedrijfsbegeleider en een collega van de development-afdeling. Het is niet geheel bekend hoe accuraat de informatie is die gemeten kan worden met de technieken, maar aangezien het voornamelijk officiële software van de fabrikant van de netwerkswitches betreft, wordt aangenomen dat dit voldoende accuraat is.

Zoals bij de vorige deelvraag gesteld is, zal de applicatie die met behulp van de resultaten van dit onderzoek ontwikkeld zal worden, functioneren binnen de beheerlaag binnen het Software Defined Networking principe. Alle data die verzameld wordt over de netwerkswitches binnen de data laag zal namelijk samengevoegd worden tot informatie over het gehele netwerk. Een andere applicatie kan deze data vervolgens opvragen en eventueel weergeven.

5.3.2 Beperkingen en aanbevelingen

Allereerst wordt alleen ondersteuning geboden voor het meten van lokale netwerken met Cisco netwerkswitches. Dit voldoet voor de huidige situatie van Qcast. Het kan in de toekomst echter voorkomen dat netwerkapparatuur van andere merken gebruikt zal worden of dat verbindingen met de cloud ook gemeten moeten worden. In een vervolgonderzoek kunnen technieken worden veralgemeniseerd om dit mogelijk te maken.

Daarnaast wordt aangenomen dat een applicatie gebruik maakt van slechts één poortnummer. Bij veel applicaties is dit het geval, zoals bij webapplicaties en YouTube, maar bij veel andere applicaties, zoals Skype for Business, is dit niet altijd het geval. In de toekomst kan het combineren van resultaten voor verschillende poortnummers mogelijk zorgen voor een beter resultaat.

Ook wordt inkomend en uitgaand verkeer nu samengevoegd bij het bepalen van de packet loss en de bandbreedte van een netwerkpoort. In de toekomst kunnen deze richtingen ook los bekeken worden.

Ten slotte is de ‘huidige’ bandbreedte niet geheel accuraat. Dit is namelijk een gemiddelde over het meetinterval. Dat wil zeggen dat hoe korter het meetinterval is, hoe accurater de data wordt. In de toekomst kan onderzocht worden of en hoe bandbreedte real time gemeten kan worden.

5.4 Algemeen

5.4.1 Analyse

Belangrijk is om te benoemen dat de interviewverslagen van de interviews die voor dit onderzoek zijn gehouden, al direct gefilterd zijn op zaken die relevant zijn. Er zijn dus mogelijk wel andere zaken besproken tijdens deze interviews, maar deze zijn niet opgeschreven. Het interviewverslag van ieder interview met de bedrijfsbegeleider is gevalideerd met de geïnterviewde op correctheid. Verschillende onderdelen van de onderzoeksresultaten zijn gevalideerd door de bedrijfsbegeleider, een network engineer die werkzaam is bij Qcast en een softwareontwikkelaar die werkzaam is bij Qcast. Informatie hierover is te vinden in bijlage 3.

Ondanks dat dit onderzoek gaat over de gebruikerservaring van een netwerk, zijn bewust geen gebruikers geïnterviewd. Dit heeft als reden dat gebruikers vaak weinig weten van netwerken, waardoor ze weinig inhoudelijke kennis kunnen bijdragen aan het onderzoek. Kennis over netwerken is vrij specialistische kennis. Het ontbreken van deze kennis is immers een van de redenen dat Qcast wordt ingehuurd door zijn klanten.

Wanneer dit onderzoek vergeleken wordt met andere onderzoeken, blijkt dat deze op vergelijkbare uitkomsten uitkomen. Zo stelt een vergelijkbaar onderzoek (Klein, Freeman, Lessiter, Ferrari, & Wilds, 2009) dat bandbreedte, packet loss, responsetijd en jitter parameters van de prestaties van een netwerk zijn en dat deze parameters dus de gebruikerservaring van een netwerk direct beïnvloeden. Een ander onderzoek (Pokhrel, 2015) stelt grotendeels dezelfde parameters, maar wel met een paar afwijkingen. Dit onderzoek neemt namelijk responsetijd niet mee en gaat uitgebreider in op packet loss. De parameters die genoemd worden in deze onderzoeken komen daarmee grotendeels overeen met de genoemde parameters in dit onderzoek. Uiteraard onderscheidt dit onderzoek zich wel, namelijk in de manier waarop de beoordeling van de gebruikerservaring van een netwerk wordt berekend en in het feit dat dit onderzoek specifiek is gericht op de situatie van Qcast.

5.4.2 Beperkingen en aanbevelingen

Zoals is omschreven in de inleiding, was de doelstelling van dit onderzoek het bouwen van een prototype van een applicatie die de gebruikerservaring van een netwerk kan beoordelen. Naar mijn idee heeft dit onderzoek een goede basis voor dit prototype gelegd en kan deze volledig ontwikkeld worden met behulp van de gevonden onderzoeksresultaten. Vanzelfsprekend is het daarom een aanbeveling van dit onderzoek om dit prototype te ontwikkelen.

Daarnaast werd in de inleiding duidelijk dat de visie van Qcast is om netwerken op te zetten die proactief en autonoom opereren. De eerste stap is nu gezet met dit onderzoek. De volgende stap richting het bereiken van deze visie is om te onderzoeken hoe de informatie die met behulp van dit onderzoek kan worden achterhaald over de gebruikerservaring van netwerken, gebruikt kan worden om verbeteringen aan te brengen in deze netwerken.

Hoofdstuk 6: Conclusie

In dit onderzoek is de volgende onderzoeksvraag onderzocht:

“Hoe kan de gebruikerservaring van een bedrijfsnetwerk dat beheerd wordt door Qcast op een bepaald moment gemeten en beoordeeld worden?”

De gebruikerservaring van een netwerk kan beoordeeld worden door de gebruikerservaring van verschillende relevante applicaties te berekenen. Als uit te werken applicaties zijn in dit onderzoek Skype for Business, Qcast Connectivity Portal en YouTube gekozen, omdat ze samen de drie verschillende QoS-typen afdekken die in de netwerkinfrastructuur van Qcast ingesteld staan.

Een netwerk wordt binnen de context van dit onderzoek gedefinieerd als alle netwerkapparaten die tussen een gebruiker en de applicatieservers van de in dit onderzoek behandelde applicaties liggen en zich binnen de netwerkinfrastructuur bevinden die door Qcast beheerd wordt.

Per applicatie bestaat de berekening uit vijf onderdelen, namelijk: de packet loss op relevante netwerkpoorten, de bandbreedte van relevante netwerkpoorten, de bandbreedte van het relevante QoS-type op relevante netwerkpoorten, de responsetijd van het applicatieverkeer binnen het netwerk en de jitter die bij deze responsetijd hoort.

Hierbij is packet loss het belangrijkste, omdat dit voornamelijk voorkomt wanneer een netwerkpoort overbelast is. Wanneer packet loss voorkomt, wordt de verloren data opnieuw verstuurd door het apparaat van de gebruiker, wat voor nog meer netwerkverkeer zorgt. Daarnaast speelt bandbreedte een rol, aangezien een hoge benutting van de beschikbare bandbreedte aanduidt dat een risico bestaat dat deze opraakt, wat vervolgens weer zorgt voor packet drops. Ten slotte is de responsetijd relevant, samen met jitter, aangezien bij sommige applicaties een hoge responsetijd of hoge variaties hierin voor irritaties bij gebruikers kunnen zorgen.

De berekening ter beoordeling van de gebruikersvriendelijkheid van een applicatie bevat een aantal constanten en variabelen. De constanten hebben dezelfde waarde bij iedere meting, maar hebben wel verschillende waarden per applicatie.

Om tot waarden voor de variabelen te komen, moeten zaken gemeten worden in netwerkswitches. Dit wordt gedaan door middel van Flexible NetFlow en SNMP. Flexible NetFlow biedt gedetailleerde informatie over het netwerkverkeer op een netwerkswitch. SNMP is een protocol waarmee een breed scala aan waarden uit een netwerkswitch opgevraagd kan worden.

Door de berekening per applicatie uit te voeren met de vastgestelde constanten en de hiertoe gemeten variabelen en het gemiddelde van de resultaten van deze berekeningen te nemen, kan de gebruikerservaring van een netwerk beoordeeld worden op een schaal van 0 tot 100, waarbij 100 de best haalbare score is.

Hoofdstuk 7: Literatuur

- Ahaus, C., & Diepman, F. (2010). *Balanced Scorecard & INK-managementmodel* (4e ed.). Deventer, Nederland: Kluwer.
- Birkinshaw, J., Shommo, N. S., & Rowe, C. (2018, 15 februari). Plan network requirements for Skype for Business 2015. Geraadpleegd op 24 mei 2018, van <https://docs.microsoft.com/en-us/skypeforbusiness/plan-your-deployment/network-requirements/network-requirements>
- Cisco. (z.j.). What Is a Network Switch vs. a Router? Geraadpleegd van <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/small-business/resource-center/connect-employees-offices/network-switch-what.html>
- Farhady, H., Lee, H., & Nakao, A. (2015). Software-Defined Networking: A survey. *Computer Networks*, 81, 79-95. Doi:10.1016/j.comnet.2015.02.014
- Gardner, B. S. (2011). Responsive Web Design: Enriching the User Experience. *Sigma*, 11(1), 13-19. Geraadpleegd van <http://www.webdesignblog.gr/wp-content/uploads/2012/03/5.pdf#page=15>
- Getto, G., & Beecher, F. (2016). Toward a Model of UX Education: Training UX Designers Within the Academy. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 59(2), 153-164. Doi:10.1109/TPC.2016.2561139
- Google. (z.d.). Google Video Quality Report. Geraadpleegd op 26 mei 2018, van <https://www.google.com/get/videoqualityreport/#methodology>
- GreyCampus. (2013). ITIL Foundation Trainer Handbook. Geraadpleegd van https://www.greycampus.com/system/open_campus/courses/documents/23d90e4518d030955a247f522d21c86f63a92c3a.pdf
- International Organization for Standardization. (2010, maart). ISO 9241-210:2010. Geraadpleegd van <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en>
- Klein, J., Freeman, J., Lessiter, J., Ferrari, E., & Wilds, M. (2009). Assessing Network Quality of Experience. Geraadpleegd van https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0015/36150/networkqoe.pdf
- Marfatiya, S. (2014, 23 november). Let Us Comprehend CUBI—A User Experience Model Part 3 [Blogpost]. Geraadpleegd van <http://lujayninfoways.blogspot.nl/2014/11/let-us-comprehend-cubia-user-experience.html>
- Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X., Obraczka, K., & Turetti, T. (2014). A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1617-1634. Doi:10.1109/SURV.2014.012214.00180
- Pokhrel, J. (2015). Intelligent quality of experience (QoE) analysis of network served multimedia and web contents. Geraadpleegd van <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01149696/document>
- Smith, T., & Thomas, C. (2018, 17 april). Media Quality and Network Connectivity Performance in Skype for Business Online. Geraadpleegd op 24 mei 2018, van <https://docs.microsoft.com/en-us/skypeforbusiness/optimizing-your-network/media-quality-and-network-connectivity-performance>
- Stern, C. (2014, 25 september). CUBI: A User Experience Model for Project Success. Geraadpleegd van <https://uxmag.com/articles/cubi-a-user-experience-model-for-project-success>
- Stern, C. (2016, augustus). CUBI User Experience Model. Geraadpleegd van http://www.cubiux.com/images/cubi_ux_user_experience_model_hi-res.jpg
- Tullis, T., & Albert, B. (2013). *Measuring the User Experience* (2e ed.). Waltham, MA: Morgan Kaufmann.
- Xia, W., Wen, Y., Foh, C. H., Niyato, D., & Xie, H. (2014). A Survey on Software-Defined Networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1), 27-51. Doi:10.1109/COMST.2014.2330903

Bijlage 1: Interviews

B1.1 Interview over inleiding onderzoeksvoorstel

Datum: 31 januari 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebregts, J. Melkert

Aanleiding:

- Qcast beheert ontwikkelt en realiseert bedrijfsnetwerken voor internationaal opererende zakelijke klanten.
- Deze netwerken bestaan vooral uit Cisco routers, netwerkswitches en access points.

Doelstelling:

- Er is vraag naar het meten van de UX van een netwerk.
- Cisco is ook aan het bedenken hoe ze dit willen doen, maar heeft nog niks.
- Cisco software blijkt vaak onbetrouwbaar.
- Het draagt bij aan de quality assurance en performance assurance.

Bedrijfsrelevantie:

- Qcast wil graag goede UX van netwerken bieden.
- Dit onderzoek en de daarbij horende applicatie helpen de visie.
- Een applicatie met deze functionaliteiten is er nog niet. Er is dus geen 'make or buy' beslissing.
- Qcast werkt nu vooral reactief bij problemen. De werkwijze moet een transitie doormaken van reactief naar proactief werken met netwerken.
- Uiteindelijk moeten netwerken zelfs autonoom opereren.
- Proactief en autonoom is de visie van Qcast.
- Dit onderzoek biedt stap 1 in dit proces, meten is immers weten.

Maatschappelijke relevantie:

- IT zorgt er over het algemeen voor dat zaken geautomatiseerd worden en er dus minder omslachtigheden bestaan, zoals het rijden van onnodige kilometers, het onnodig veel tijd en ruimte kwijt zijn aan papieren document, etc. Het maakt het leven dus een heel stuk prettiger.
- IT-oplossingen hebben vaak als doel om de groei van de maatschappij te verbeteren en faciliteren.
- Deze IT-oplossing is een legosteen in de grote maatschappelijke ontwikkeling van IT.

Kennisgebied en theoretische relevantie:

- De technische innovatie in netwerkland nu gericht is op Software Defined Networking, het definiëren en configureren van een netwerk op basis van een softwaremodel.
- Er bestaat nog een oplossing voor en dus nog geen theorie over.
- Dit onderzoek raakt onder andere de volgende kennisgebieden:
 - Hardware + het gedrag ervan
 - Software Defined Networking
 - Big Data
 - Data Science

Hoofd- en deelvragen:

- Vergeet niet de terugkoppeling naar de gebruiker.

Aanwezige bronnen of studietermen om me op weg te helpen:

- Websites als tweakera's die zich richten op network engineers.
- Partijen als Cisco.
- Toegang tot de installatie van Qcast van Cisco Prime.
- Evt. andere monitoring tools van netwerken.

B1.2 Interview over CUBI-model onderzoeksvoorstel

Datum: 21 februari 2018

Gevalideerd door geïnterviewde op: 23 februari 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebregts, J. Melkert

Inhoud:

- Er zijn verschillende datasoorten die over een netwerk gaan.
- Welke dit zijn zullen we later in het onderzoek specificeren.
- Voor verschillende datasoorten gelden vaak ook verschillende ideale configuraties.

Gebruikersdoelen:

- Zeer belangrijk, uiteindelijk draait alles om de gebruiker.
- Als de doelen van de gebruiker goed vervuld worden, wordt deze automatisch tevredener over de netwerken.
- Gebruikers hebben verschillende behoeften bij een netwerk.
- Vaak zijn deze verschillende behoeften afhankelijk van de datasoorten die gebruikt worden.

Bedrijfsdoelen:

- Facilitering wordt gedaan door de afdeling 'Support'.
- Het aanbod, met het daarbij beoogde resultaat sluiten aan op de missie.
- Inhoudelijk zal dit besproken worden in een later stadium.

Interactie:

- Een gebruiker interacteert niet direct met een netwerk.
- Een netwerk dient als hulpmiddel voor een gebruiker, om andere applicaties goed te kunnen gebruiken.

B1.3 Interview over invulling CUBI-model

Datum: 23 maart 2018

Gevalideerd door geïnterviewde op: 26 maart 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebregts, J. Melkert

Inhoud

Datatypen

Welke datatypen zijn er?

Apps hebben een verwacht netwerkprofiel, de verschillende soorten zijn:

<u>Belangrijkheid per datasoort</u>	Weinig packet loss	Hoge bandbreedte	Lage responsetijd	Weinig jitter
Soort 1 (Videostreaming)	Ja	Nee	Ja	Ja
Soort 2 (VOIP)	Nee	Ja	Nee	Nee
Soort 3 (Webapplicatie)	Nee	Ja	Ja	Nee

Gevonden parameters:

- Bandbreedte
- Packet loss
- Responsetijd
- Jitter (Variatie in responsetijd)
- Statistieken rond QoS-profielen

Gebruikersdoelen

Gebruikerstypen

Welke gebruikerstypen zijn er?

Een 'gebruiker' van het netwerk is altijd een technisch apparaat. De volgende soorten gebruikerstypen kunnen onderscheiden worden:

- Personal devices (Laptops, tablets, etc.)
- Community devices (Auto, Slimme energiemeter, Sonos)
- Technically oriented devices (Heftruck, IoT sensoren)

Hierbij is het authenticatieprofiel relevant. Verschillende apparaten hebben verschillende authenticatieprofielen. Dit hoeft echter in dit onderzoek niet meegenomen te worden.

Een netwerk moet 'gewoon werken'. Veel gebruikers hebben smartphone met goede databundel, dus bij problemen kunnen ze overschakelen, dit is niet wenselijk. Kortom moeten de prestaties goed gewoon goed zijn.

Bedrijfsdoelen

Missie

Qcast past waar mogelijk bestaande software toe om een netwerk als sensor te gebruiken. Met deze software krijgt het netwerk 'bewustzijn' en zal het autonoom opereren. Ondertussen wordt eigen software ontwikkeld om de bestaande software te vervangen met eigen software van hogere kwaliteit.

Resultaat en aanbod

Wat zijn jullie KPI's?

Algemeen:

- Voldoen aan SLA
- Capabele mankracht (Kennis van Cisco d.m.v. trainingen)
- Partnerstatus bij juiste leveranciers

Projecten

- Projecten volledig oplossen, dus:
 - Toekomstgericht
 - Kwalitatief
 - Snel
 - Efficiënt
 - Onderhoud
 - Documentatie
 - Updateschema's
 - Patches
 - Afhankelijkheden
 - Risico's
- Leren van problemen en op de uitkijk voor mogelijke problemen (known vulnerabilities)
- Klant goed kennen
 - Tijd, geld, kwaliteit
 - Roadmap van de klant begrijpen en dus zijn stille verwachtingen managen.

Beheer/onderhoud

- Leren van problemen en op de uitkijk voor mogelijke problemen (known vulnerabilities)
- Reactief en proactief
- Continu verbeteren
- Goed plannen van changes
- Capaciteitsplanning

Facilitering

Hoe wordt het aanbod gefaciliteerd?

- Met behulp van softwareoplossingen, zoals de Qcast Connectivity Portal, Cisco prime, etc.
- QCP wordt uitgebreid om dienstverlening almaar te verbeteren.

B1.4 Interview over parameters

Datum: 30 maart 2018

Gevalideerd door geïnterviewde op: 4 april 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebregts, J. Melkert

Algemeen

Wat wel en wat niet meenemen?

- Geen rekening houden met gebruikerssoorten, dit komt al naar voren in de datasoorten
- Dus verschillende applicatiesoorten en daarmee datasoorten zijn belangrijk
- Applicatie heeft een poortnummer, dus applicaties kunnen onderscheiden worden
- QoS-type: priority, business critical en best effort. Bepaalt prioriteit van verkeer.
- Parameters:
 - Packet drops
 - Bandbreedte
 - QoS bandbreedte
 - Responsetijd
 - Jitter

Packet drops

- Indicatie van overbelasting. Zeer belangrijk dus, want dan zijn er problemen.
- Packet drops zorgen voor niet optimaal presteren, slecht voor UX!
- Wordt versterkt door packet retransmitting, loopt vol tot een punt dat er niks meer doorkomt. (TCP starvation)

Bandbreedte

- Bandbreedte vol is een probleem, want dat leidt tot packet drops.
- Bijna vol begint een probleem te worden. Met het oog op proactiviteit: ook lagere score bij bijna vol, want dit vormt een risico.
- Twee onderdelen: Per QoS-type op een netwerkpoort en per netwerkpoort.
- QoS-type verliest voordeel bij bereiken max. bandbreedte.

Responsetijd en jitter

- Hoge responsetijd zorgt voor lang wachten, waardoor het netwerk als langzaam ervaren wordt.
- Vooral relevant voor bepaalde apps, zoals VOIP.
- Jitter is variatie in responsetijd. Voor sommige apps nog belangrijker dan responsetijd. Jitter bij VOIP wordt als zeer irritant ervaren.

B1.5 Interview over scope

Datum: 4 april 2018

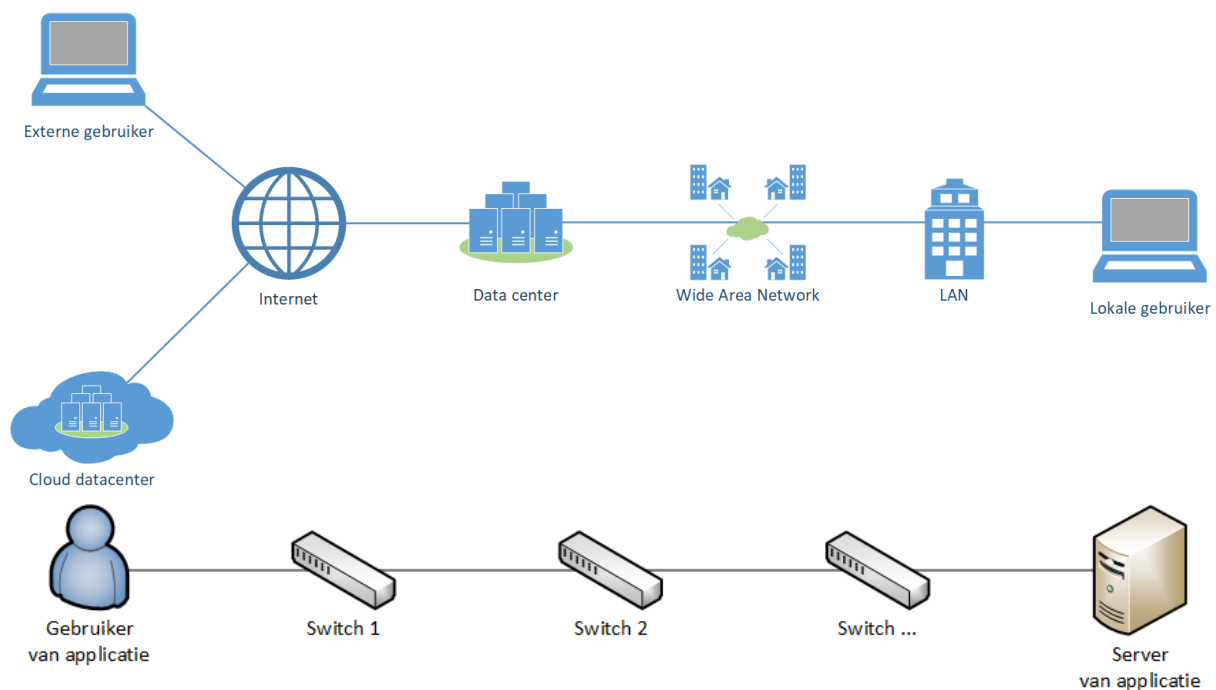
Gevalideerd door geïnterviewde op: 10 april 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebrechts, J. Melkert

Netwerk

Wat is een netwerk voor deze opdracht?

Volgend figuren werden op het bord getekend:



- Er zijn lokale en externe gebruikers.
- Er is een intern en virtueel cloud datacenter.
- Tussen cloud en intern en tussen externe gebruiker en intern zit het internet.
- Het internet kan (voorlopig) niet gemeten worden, daarom buiten scope.
- In een DC staat een applicatieserver. Binnen het LAN en WAN bevinden zich een boel netwerkkapparaten.
- Alleen netwerkswitches meenemen is verstandig, om de opdracht behapbaar te houden.
- Een aantal waarden als gegeven beschouwen, zoals gebruiker en applicatie server.
- Skype For Business, Qcast Connectivity Portal en YouTube gebruiken als applicaties, want verschillende QoS-typen.

B1.6 Interview over berekening

Datum: 21 mei 2018

Gevalideerd door geïnterviewde op: 23 mei 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebregts, J. Melkert

Algemeen

- UX van een netwerk wordt bepaald door de UX van de drie te meten applicaties te bepalen en gemiddelde te nemen.
- Bestaat uit drie delen: packet loss, bandbreedte, responsetijd/jitter
- Wegingen: 50%, 30% en 20%
- Bij netwerkpoorten: Altijd uitgaan van de slechtst presterende poort, want die kan een bottleneck veroorzaken.
- Lineaire schalen gebruiken tussen probleem / ideaal

Packet loss

- In %
- Er wordt een maximum gesteld per applicatie.
- Als gemeten % > maximum %: UX van hele applicatie 0, want dan komt er geen of amper netwerkverkeer meer door.

Bandbreedte

- 2 delen: hele poort en QoS-type.
- Weging afhankelijk van applicatie, want type prio kan bijv. niet overflowen, dus QoS bandbreedte geldt 100%
- Maximale probleemloze bandbreedte (hele poort en QoS-type) afhankelijk van applicatie.

Response time/jitter

- Meerdere metingen, stuk of 5. Gemiddelde pakken.
- Ideale reponsetijd of lager = maximale score, geen probleem.
- Maximale acceptabele response tijd = minimale score, alles daaronder ook.
- Jitter ook een max acceptabele waarde.
- Weging tussen responsetijd en jitter varieert per applicatie

B1.7 Interview over constanten

Datum: 25 mei 2018

Gevalideerd door geïnterviewde op: 28 mei 2018

Deelnemers gesprek: P. Liebregts, J. Melkert

Skype for Business

- Bron zoeken voor max packet loss
- Bandbreedte netwerkpoort niet van toepassing, want priority profile, dus geen overflow.
- 10 bellers vrijhouden.
- Jitter is zeer vervelend, dus 70% weging, tov 30% responsetijd.
- Waarden responsetijd ook opzoeken
- Bron kan microsoft zijn.

Qcast Connectivity Portal

- TCP starvation = 8% packet loss
- Binnen QoS 3 verbindingen tegelijk en binnen netwerkpoort 5 verbindingen tegelijk.
- Er wordt namelijk niet vaak een pagina tegelijk geladen, dus dit ondersteunt eigenlijk veel meer dan 3 en 5 gebruikers.
- Weging van een QoS-type is hoog, want dan kan een hogere prioriteit gegarandeerd worden dan bijvoorbeeld videostreaming, wat veel bandbreedte nodig heeft.
- Bandbreedte en responsetijd baseren op max. laadtijd webpagina (opzoeken in bron).
- Weging van responsetijd is hoog, omdat een gebruiker niet graag lang wacht, maar variaties in wachttijden niet snel irritaties teweegbrengen, tenzij ze heel groot zijn.

YouTube

- Wederom: TCP starvation = 8% packet loss.
- QoS niet van toepassing, want laagste prioriteit.
- Drie streams tegelijk ondersteunen, bandbreedte opzoeken, bijv. bij Google zelf.
- Uitgaan van HD (720p).
- Max. responsetijd aannemen op 1000ms, want langer dan een seconde is irritant voor een gebruiker, aangezien de YouTube server zelf ook nog tijd toevoegt.
- Ideale responsetijd aannemen op 100ms, dit zorgt voor een soepele ervaring.
- Weging responsetijd is 100%, omdat jitter niets uitmaakt wegens buffering.

Bijlage 2: Bronnenlijst ‘metingen’

Deze bronnenlijst dient als aanvulling op de literatuurlijst in hoofdstuk 7. Deze bronnen zijn geraadpleegd tijdens het exploratief onderzoek wat uitgevoerd is om de meetbare zaken in deelvraag 1 te vinden en de meetwijze van de variabelen in deelvraag 3 te vinden. De bronnen zijn niet wetenschappelijk, maar hebben me wel goed op weg geholpen.

NetFlow

De volgende bron (en de andere onderdelen die bij deze bron horen) bieden algemene informatie over NetFlow v9 (De versie van NetFlow waarop Flexible NetFlow gebaseerd is):

Hale, B. (2012, 6 september). NETFLOW V9 DATAGRAM KNOWLEDGE SERIES: PART 1 - NETFLOW OVERVIEW. Geraadpleegd op 26 maart 2018, van <https://thwack.solarwinds.com/community/solarwinds-community/geek-speak/blog/2012/09/06/netflow-v9-datagram-knowledge-series-part-1--netflow-overview>

De volgende bron biedt algemene informatie over Flexible NetFlow:

Cisco. (2006, 9 juni). Cisco IOS Flexible NetFlow. Geraadpleegd op 27 maart 2018, van https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/ios-nx-os-software/flexible-netflow/product_data_sheet0900aecd804b590b.html

De volgende bron biedt informatie over nfcapd en nfdump:

NFDUMP. (z.d.). Geraadpleegd op 27 maart 2018, van <http://nfdump.sourceforge.net/>

SNMP

Voor het bepalen van de statistieken van een QoS-type op een netwerkpoort is de volgende bron gebruikt:

Cisco. (2015, 31 juli). Get Class-Based Quality of Service Details for an Interface Using SNMP. Geraadpleegd op 4 april 2018, van <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/simple-network-management-protocol-snmp/119031-technote-router-00.html>

De volgende bronnen zijn referenties naar de verschillende OID's die zijn benoemd in deelvraag 3:

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.10. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.10>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.11. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.11>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.12. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.12>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.13. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.13>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.14. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.14>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.16. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.16>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.17. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.17>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.18. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.18>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.19. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.19>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.2. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.2>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.20. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.20>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.2.2.1.5. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.2.2.1.5>

Reference record for OID 1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.15. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.15>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.1.1.1.4. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.1.1.1.4>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.15.1.1.9. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.15.1.1.9>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.2. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.2>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.3. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.3>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.4. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.5.1.1.4>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.7.1.1.1. (z.d.). Geraadpleegd op 4 april 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.7.1.1.1>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.9.1.1.1. (z.d.). Geraadpleegd op 27 mei 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.9.1.1.1>

Reference record for OID 1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.9.1.1.2. (z.d.). Geraadpleegd op 27 mei 2018, van <http://oidref.com/1.3.6.1.4.1.9.9.166.1.9.1.1.2>

Bijlage 3: Validatie van onderzoeksresultaten

B3.1 Bedrijfsbegeleider

Tijdens de uitvoering van het onderzoek heeft de bedrijfsbegeleider verschillende onderdelen van de onderzoeksresultaten gevalideerd op de volgende manieren:

- Alle interviewverslagen zijn (mondeling) gevalideerd door de bedrijfsbegeleider, aangezien hij bevraagde was in deze interviews. Aangezien veel onderzoeksresultaten zijn gebaseerd op deze interviewverslagen, gelden de validaties van de interviews ook grotendeels als validaties van de bijbehorende onderzoeksverslagen.
- 20 mei/21 mei: De conceptresultaten van deelvraag 1 doorgelezen en hier een paar opmerkingen bij geplaatst (over mail en Skype for Business).
- 6 juni: De conceptresultaten van het volledige onderzoek doorgelezen en benoemd dat het onderzoek methodisch is uitgevoerd en goed is onderbouwd en dat er daarom geen opmerkingen meer over zijn.

B3.2 Network engineer

Een network engineer die werkzaam is bij Qcast heeft de onderzoeksresultaten die relevant waren voor zijn vakgebied gevalideerd op 7 juni. Hij benoemde dat de inhoud goed is, maar dat het aanmerken van YouTube als streamingdienst foutief is, omdat video's van streamingsdiensten live zijn en dus veelal niet of weinig bufferen. Daarom wordt YouTube nu in het onderzoek geen videostreamingsdienst, maar een videodienst genoemd.

B3.3 Softwareontwikkelaar

De hoofd-softwareontwikkelaar die werkzaam is bij Qcast heeft de onderzoeksresultaten die relevant waren voor zijn vakgebied gevalideerd op 6 juni. Over deze onderdelen van de onderzoeksresultaten had hij enkel een paar taalfouten gevonden. De rest van de onderzoeksresultaten heeft hij ook bekeken en hier ook wat opmerkingen bij geplaatst.