



Departement IT en Digitale Innovatie

Een vergelijkende studie tussen gRPC met Protocol Buffers en REST met JSON in opdracht van Fashion Society.

Sven Pepermans

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van  
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:  
Antonia Pierreux  
Co-promotor:  
Kristof van Moorter

Instelling: Fashion Society

Academiejaar: 2020-2021

Tweede examenperiode



Departement IT en Digitale Innovatie

Een vergelijkende studie tussen gRPC met Protocol Buffers en REST met JSON in opdracht van Fashion Society.

Sven Pepermans

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van  
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:  
Antonia Pierreux  
Co-promotor:  
Kristof van Moorter

Instelling: Fashion Society

Academiejaar: 2020-2021

Tweede examenperiode



## Woord vooraf

Ik heb deze bachelorproef geschreven voor het voltooien van mijn opleiding Toegepaste Informatica met als afstudeerrichting Mobile Apps. Ik heb dit onderzoek rond performantie tussen gRPC met Protocol Buffers en REST met JSON voor de implementatie van The Fashion Society uitgevoerd omdat ik grote interesse heb in het ontwikkelen back-end applicaties en services. Daarnaast vind ik de back-end structuur van The Fashion Society waarmee ik leren werken heb gedurende mijn stage zeer intrigerend en vond ik het passend om te onderzoeken of het systeem performanter te maken is door enkel het gebruikte dataformaat, en de bijhorende structuur, aan te passen. Dit onderzoek heeft mij doen inzien dat er meer dan enkel REST en JSON is voor back-end applicaties en services. Waar ik voordien standaard JSON gebruikte zal ik nu eerst grondig nadenken of het niet beter is om een alternatief dataformaat te gebruiken.

Deze bachelorproef zou echter niet tot stand zijn gekomen zijn zonder de hulp en bijstand van enkele mensen. Wat hierop volgt is een bedanking aan alle mensen die mij gesteund en geholpen hebben bij het ontwikkelen van deze bachelorproef.

Eerst en vooral zou ik The Fashion Society en specifiek Yoerick Lemmelijn willen bedanken voor het vertrouwen dat zij in mij hebben gestoken met het toegang verlenen tot de interne test server waarop een kopie van hun systeem draait en dewelke ook gebruik maakt van gevoelige data zoals klantgegevens. Als volgt wil ik zeer graag mijn co-promotor Kristof van Moorter bedanken. Dankzij zijn uitgebreide kennis van zowel het interne systeem van The Fashion Society als back-end applicaties, microservices en dataformaten is toch wel een groot deel van mijn bachelorproef mogelijk gemaakt.

Alsook wil ik graag mijn promotor Antonia Pierreux bedanken voor de bijstand en feedback op de inhoud van deze bachelorproef en voor het altijd klaar staan voor te antwoorden op

soms, wat ik zelf kan beschrijven als domme, vragen.

Tot slot zou ik ook mijn ouders en vriendin willen bedanken voor mij te pushen op de momenten dat het nodig was zodanig dat deze bachelorproef voor de deadline zou afgeraakt zijn.

Bij deze wens ik u een aangename leeservaring toe.

## Samenvatting

Op basis van dit onderzoek kan The Fashion Society kiezen om de huidige structuur van de Discovery API, zijnde REST met JSON, te behouden of over te schakelen naar gRPC met Protocol Buffers. Dit onderzoek is interessant doordat The Fashion Society als maar blijft uitbreiden en er dagelijks honderdduizenden requests passeren door zowel de Orchestrator als de Discovery API en opmerkelijke verbeteringen in performantie door de eindgebruiker, zijnde het personeel van The Fashion Society en onderliggende bedrijven, duidelijk gevoeld kunnen worden. In dit onderzoek worden REST met JSON en gRPC met Protocol Buffers onderzocht en met elkaar vergeleken. Voor het uitvoeren van dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de testserver van The Fashion Society waar de huidige structuur reeds op geïmplementeerd is. De twee structuren worden vergeleken op basis van performantie in twee groeperingen, de kleine payload bestaande uit minder dan honderdduizend requests en de grote payload bestaande uit vijfhonderdduizend requests. Verder in dit document zult u een inleiding tot het onderwerp vinden waarin onder andere de huidige stand van zaken, de onderzoeksvraag en het verdere verloop van deze bachelorproef beschreven staan. Alsook vindt u voor elk van beide structuren de resultaten van beide payloads.





# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>13</b>
1.1	Probleemstelling	13
1.2	Onderzoeksvraag	14
1.3	Onderzoeksdoelstelling	14
1.4	Opzet van deze bachelorproef	14
<b>2</b>	<b>Stand van zaken</b>	<b>15</b>
2.1	JSON	15
2.1.1	Algemeen	15
2.1.2	JSON in detail bekeken	17
2.1.3	Waarden	17
2.2	RESTful API	22
2.2.1	Design principles	22

2.2.2	Hoe werkt een RESTful API? .....	23
<b>2.3</b>	<b>Protocol Buffers</b>	<b>24</b>
2.3.1	Wat zijn protocol buffers? .....	24
2.3.2	Kerneigenschappen .....	25
2.3.3	Message formaat .....	25
<b>2.4</b>	<b>gRPC</b>	<b>26</b>
2.4.1	Wat is gRPC? .....	26
2.4.2	Design Principles en requirements .....	27
2.4.3	Werking van gRPC .....	29
<b>3</b>	<b>Methodologie</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Conclusie</b> .....	<b>33</b>
<b>A</b>	<b>Onderzoeksvoorstel</b> .....	<b>35</b>
A.1	Introductie	35
A.2	State-of-the-art	36
A.3	Methodologie	37
A.4	Verwachte resultaten	37
A.5	Verwachte conclusies	38
<b>B</b>	<b>Copyright Notice Ecma International</b> .....	<b>41</b>
	<b>Bibliografie</b> .....	<b>43</b>

## Lijst van figuren

2.1	JSON Example .....	16
2.2	JSON values .....	18
2.3	JSON Object Structuur .....	18
2.4	JSON Object .....	19
2.5	JSON Array Structuur .....	19
2.6	JSON Array .....	19
2.7	JSON Nummer Structuur .....	20
2.8	JSON Nummer .....	20
2.9	JSON String .....	21
2.10	Protocol Buffer .proto bestand .....	24
2.11	Simpelel JSON key-value voorbeeld .....	25



## Lijst van tabellen



# 1. Inleiding

De inleiding moet de lezer net genoeg informatie verschaffen om het onderwerp te begrijpen en in te zien waarom de onderzoeksvraag de moeite waard is om te onderzoeken. In de inleiding ga je literatuurverwijzingen beperken, zodat de tekst vlot leesbaar blijft. Je kan de inleiding verder onderverdelen in secties als dit de tekst verduidelijkt. Zaken die aan bod kunnen komen in de inleiding (**Pollefliet2011**):

- context, achtergrond
- afbakenen van het onderwerp
- verantwoording van het onderwerp, methodologie
- probleemstelling
- onderzoeksdoelstelling
- onderzoeksvraag
- ...

## 1.1 Probleemstelling

The Fashion Society is constant aan het uitbreiden, dit onder meer door overnames en het openen van eigen nieuwe ZEB winkels. Elk van deze nieuwe winkels werkt via het centraal systeem en maakt gebruik van de Discovery API bij ondermeer het informeren van de stock, verkopen van een artikel, etc. De Discovery API is een API die aan de hand van een binnenkomende call het adres van de gevraagde API gaat ophalen om aan te spreken. Naarmate er meer winkels zijn zullen er ook meer gelijktijdige requests afgehandeld worden door de Discovery API. Door deze toename aan requests kan de performantie dalen. Met dit onderzoek wordt hierop ingespeeld en wordt gekeken of gRPC met Protocol

Buffers een performanter alternatief is op de huidige implementatie.

## 1.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvragen die gevormd worden bij de vergelijking tussen gRPC met Protocol Buffers en REST met JSON zijn als volgt.

- Welk dataformaat is performanter voor de Discovery API van The Fashion Society?
- Is gRPC met ProtocolBuffers sneller dan REST API met JSON voor de implementatie van The Fashion Society?
- Is gRPC met ProtocolBuffers efficiënter dan REST API met JSON op gebied van CPU gebruik voor de implementatie van The Fashion Society?

## 1.3 Onderzoeksdoelstelling

Wat is het beoogde resultaat van je bachelorproef? Wat zijn de criteria voor succes? Beschrijf die zo concreet mogelijk. Gaat het bv. om een proof-of-concept, een prototype, een verslag met aanbevelingen, een vergelijkende studie, enz.

## 1.4 Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 4, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.



## 2. Stand van zaken

In de inleiding is duidelijk geworden dat het onderzoek gericht zal zijn op twee mogelijke dataformaten aan de hand van 2 verschillende structuren, namelijk JSON aan de hand van REST en gRPC aan de hand van Protocol Buffers. Om dit onderzoek volledig te kunnen begrijpen is het belangrijk om de werking en de basisprincipes van deze dataformaten en de daarbij behorende structuren te begrijpen. Om deze reden zullen eerst de werking en basisprincipes van JSON en RESTful API worden uitgelegd, en als volgt die van gRPC en Protocol Buffers.

### 2.1 JSON

#### 2.1.1 Algemeen

JSON is een dataformaat zoals bijvoorbeeld XML en de afkorting staat voor JavaScript Object Notation. JSON is beschreven in Standard ECMA-404 (ECMA, 2017) en is een structuur van accolades, haakjes, dubbele punten en komma's die zeer nuttig kunnen zijn in verschillende contexten, profielen en applicaties. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 2.1.

```
{
  "klant": {
    "voornaam": "Sven",
    "achternaam": "Pepermans",
    "geboortedatum": "18-06-2000",
    "adres": {
      "stad": "Geraardsbergen",
      "postcode": 9506,
      "straat": "Smeerebbestraat",
      "huisnummer": 35
    },
    "aankopen": ["TV", "Computer", "GSM"]
  }
}
```

Figuur 2.1: Een voorbeeld van een JSON.

JSON mag niet gezien worden als een specificatie van een gegevensuitwisseling. Bij een zinvolle gegevensuitwisseling wordt er een overeenstemming over de structuur die gekoppeld is aan een gebruik van JSON tussen producent en consument vereist. JSON kan wel gezien worden als een syntactisch raamwerk waaraan een specifieke structuur kan worden gekoppeld.

Doordat er veel verschillende types getallen zijn zoals decimale en binaire getallen, kiest JSON enkel voor een weergave van getallen die mensen gebruiken, namelijk een reeks cijfers. Ook al zijn alle programmeertalen het niet altijd eens over de interne representaties van getallen, ze weten wel hoe ze cijferreeksen moeten begrijpen.

Objecten kunnen op veel verschillende manieren voorgesteld worden, met andere woorden kunnen de modellen van objecten heel erg uiteenlopen. Om dit probleem aan te pakken biedt JSON een eenvoudige notatie aan voor het uitdrukken van verzamelingen met naam / waarde-paren. Om zulke verzamelingen weer te geven hebben de meeste programmeertalen reeds een functie zoals struct, map, hash en object. Daarnaast biedt JSON ook ondersteuning voor geordende zoeklijsten, alsook hiervoor hebben alle programmeertalen een functie om deze weer te geven zoals array, vector en list. Aangezien objecten en arrays zich kunnen nesten, kunnen aan de hand van JSON complexe structuren zoals boomstructuren worden gerepresenteerd.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat door het aanvaarden van JSON's simpele conventies, complexe datastructuren uitgewisseld kunnen worden tussen wat anders incompatiebele programmeertalen zijn.

### 2.1.2 JSON in detail bekeken

Een JSON-tekst bestaat uit een reeks tokens die gevormd zijn uit Unicode-codepunten en die in overeenstemming zijn met de achterliggende JSON grammatica. Zo een reeks tokens bevat tekenreeksen, cijfers, zes structurele tokens en drie letterlijke naamtokens. Hieronder volgt een opsomming van de zes structurele tokens en de drie literal name tokens.

De zes structurele tokens:

- ] Linker vierkante haak
- ] Rechter vierkante haak
- { Linker accolade
- } Rechter accolade
- : Dubbele punt
- , Komma

De drie literal name tokens:

- true
- false
- null

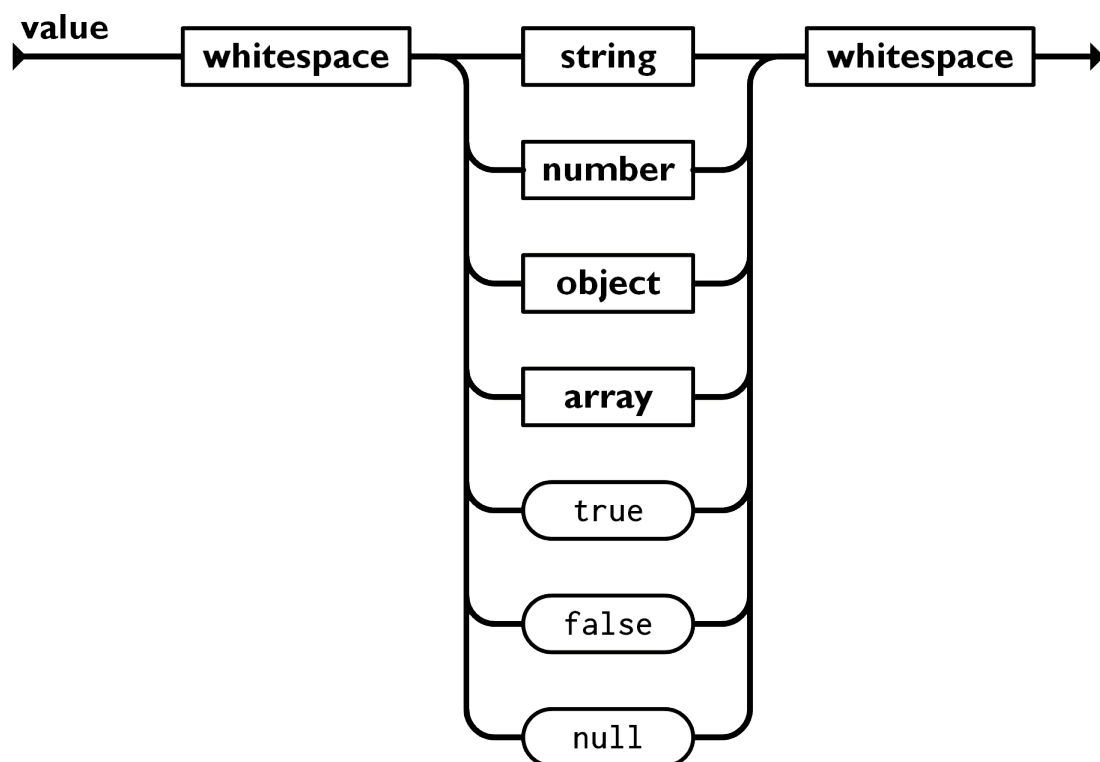
Voor of na de meeste tokens is het toegestaan om witruimte te gebruiken, maar niet binnen in een token zelf, een spatie is hierop een uitzondering en is wel toegestaan in strings. deze witruimte kan beschreven worden als een willekeurige reeks van één of meerdere van onderstaande codepunten.

- Character tabulation
- Line feed
- Carriage return
- Spatie

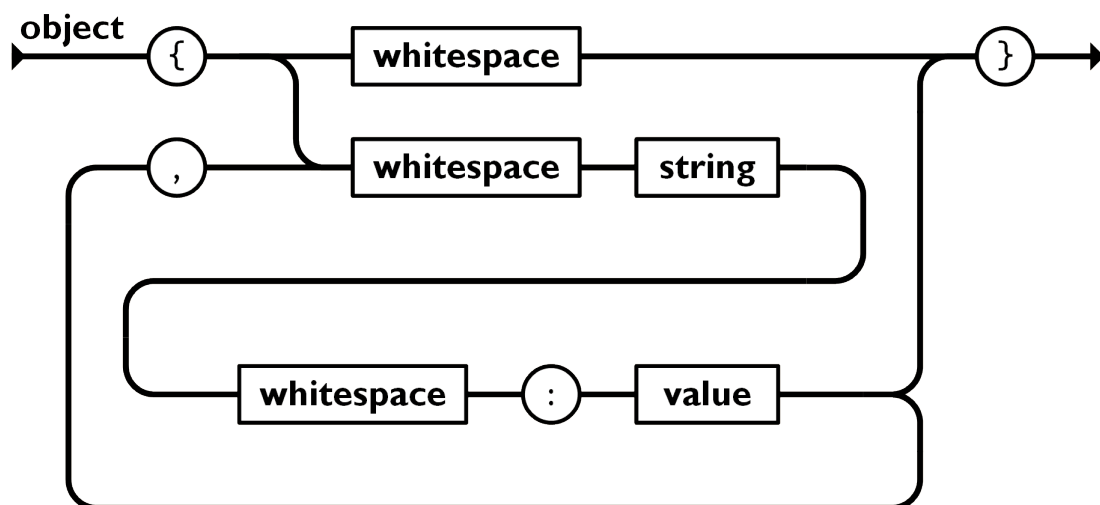
### 2.1.3 Waarden

De bovengestelde tokens vormen de ruggengraat van een JSON-bestand, echter is het de bedoeling dat een JSON-bestand data overdraagt. Deze data kan aan de hand van verschillende waarden worden voorgesteld, namelijk als objecten, arrays, nummers, strings, true, false en null. Alle mogelijke waarden zijn zichtbaar in figuur ??.

De eerste waarden die besproken worden zijn de objecten, deze worden voorgesteld door een paar accolades die geen of meerdere name/value paren kunnen omringen zoals te zien is in figuur 2.3 en in figuur 2.4. In een name/value paar is de naam een string en wordt gevolgd door een dubbele punt die de naam en waarde van elkaar onderscheidt. Na de waarde kan optioneel een komma gezet worden, deze onderscheidt de waarde en de volgende naam van elkaar. Tot slot moeten de namen niet uniek zijn en moeten ze geen bepaalde ordening volgen.



Figuur 2.2: De structuur van een JSON-waarde met alle mogelijke waarden die deze kan bevatten. Bron: [www.json.org](http://www.json.org)

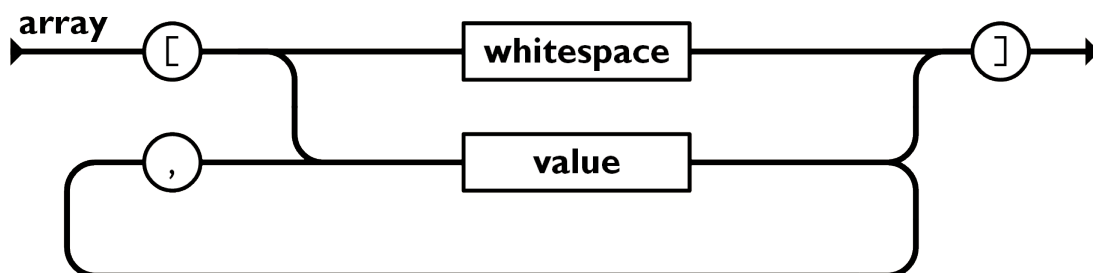


Figuur 2.3: De structuur van een JSON object. (Crockford, g.d.)

```
{
  "klant": {
    "voornaam": "Sven",
    "achternaam": "Pepermans",
    "geboorteDatum": "18-06-2000",
    "klantenNummer": "KLANT01"
  }
}
```

Figuur 2.4: Voorbeeld van een JSON object.

Een tweede waarde zijn de arrays, dit zijn vierkante haken die geen of meerdere waarden omringen. Het bijzondere aan arrays is dat deze niet beperkt zijn tot een name/value paar en dus ook andere arrays kunnen bevatten en genest kunnen worden. Dit kan afgeleid worden uit figuur 2.5. De array structuur wordt net zoals bij objecten geen beperkingen opgelegd, echter worden deze vooral gebruikt in situaties waar de ordening wel enig belang heeft. Figuur 2.6 is hier een duidelijk voorbeeld van.

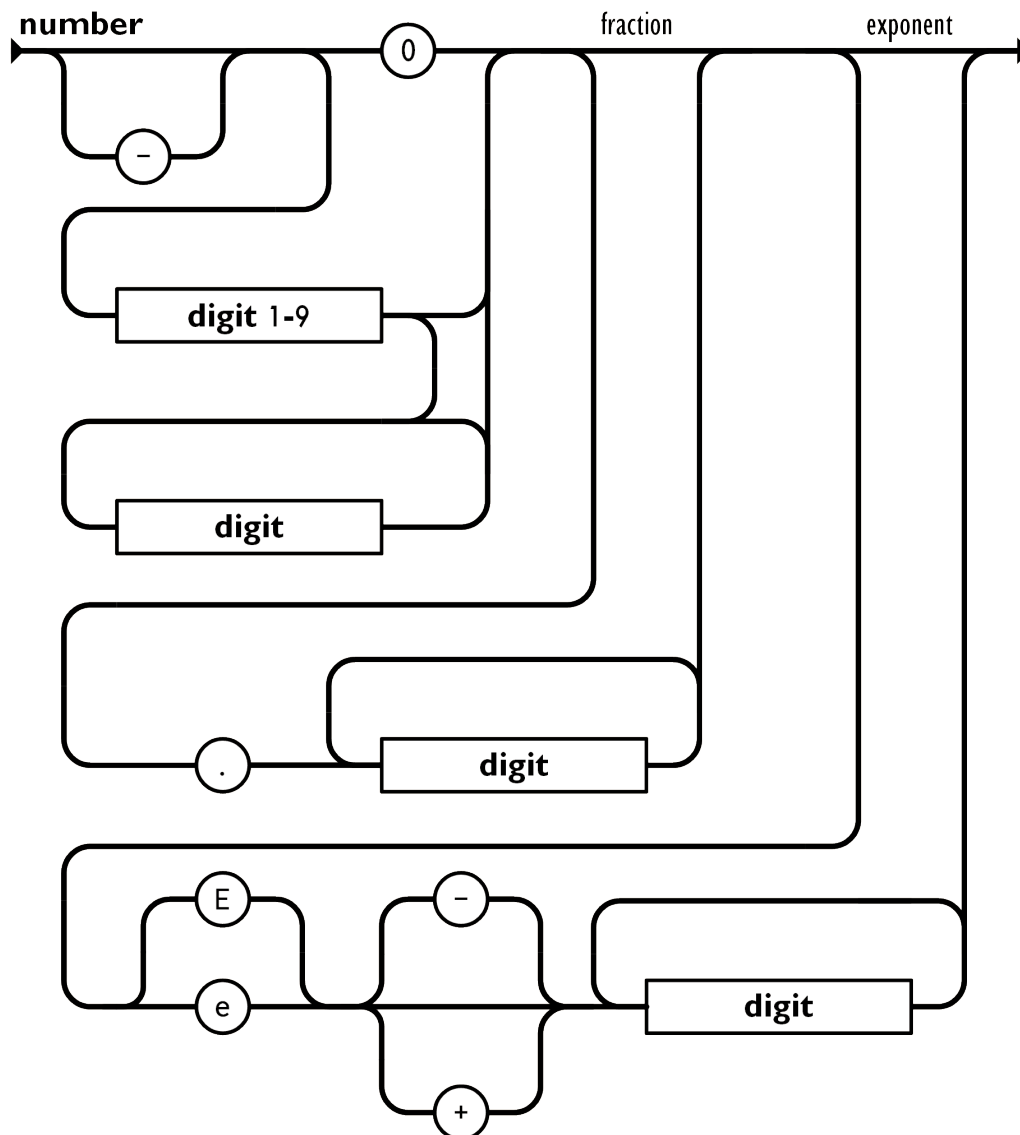


Figuur 2.5: De structuur van een JSON array. (Crockford, g.d.)

```
{
  "klanten": ["Sven", "Fleur", "Kristof"]
}
```

Figuur 2.6: Een voorbeeld van een JSON Array.

Vervolgens zijn er de nummers, een nummer kan gedefinieerd worden als een sequentie van decimale cijfers. Bij deze sequentie cijfers is er geen overbodige voorlooptul, een nummer kan wel voorafgegaan worden door een min-teken, als ook kan een nummer voorafgegaan worden door zowel een kleine als een grote e om een exponent aan te duiden dat eventueel kan worden bijgestaan door een plus- of min-teken. Om te werken met kommagetallen wordt een decimaal punt gebruikt. Deze structuur is te zien in figuur 2.7 en een voorbeeld hiervan in figuur 2.8.



Figuur 2.7: De structuur van een JSON nummer. (Crockford, g.d.)

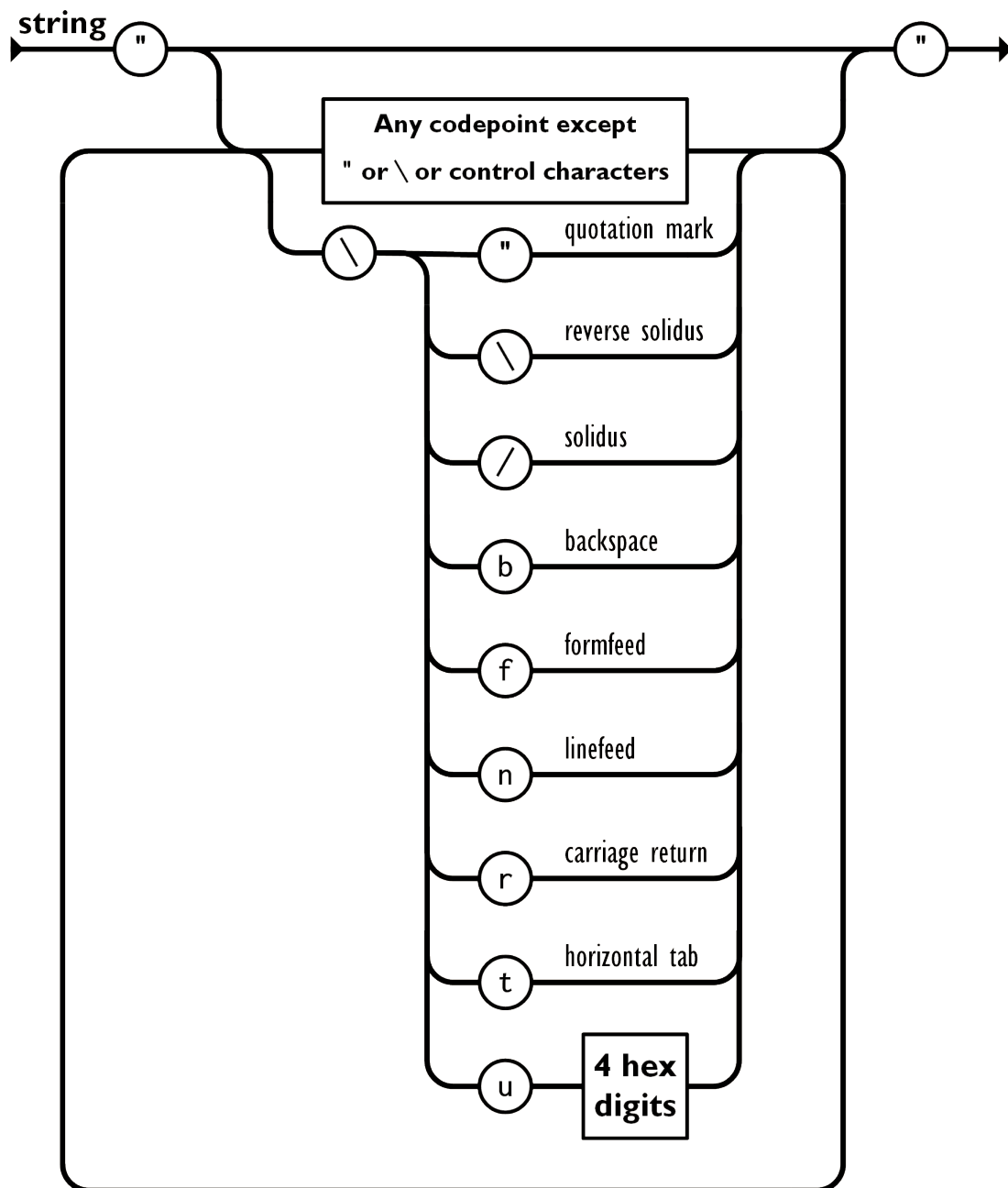
```
{
  "aantal": 35
}
```

Figuur 2.8: Een voorbeeld van een JSON nummer.

Tot slot zijn er de strings, deze representeren een tekst-waarde bestaande uit een sequentie van Unicode codepunten en zijn omringd door aanhalingstekens. Binnen deze aanhalingsstekens zijn er echter enkele codepunten die niet gebruikt mogen worden, namelijk de karakters die moeten worden geëscaped. Dit zijn dan aanhalingstekens, backslash en de

control karakters. Voor sommige escape-reeksweergaven bestaande uit twee tekens bestaat er wel een representatie binnen de string, een representatie hiervan is te zien in 2.9.

Daarnaast kan ook elk codepunt weergegeven worden als een hexadecimale sequentie, waarvan de betekenis is vastgelegd in ISO/IEC 10646. Hexadecimale getallen kunnen zowel cijfers als kleine letters en hoofdletters van A tot F zijn. De codepunten die zich bevinden in het Basic Multilingual Plane worden gerepresenteerd als een sequentie van zes karakters, namelijk een backslash gevolgd door een kleine letter u, en tot slot gevolgd door vier hexadecimale getallen die een codepunt encoderen. In figuur 2.9 is de structuur van een string te zien.



Figuur 2.9: De structuur van een JSON string. (Crockford, g.d.)

## 2.2 RESTful API

Representational State Transfer (REST) is zoals beschreven door Fielding (2000) een architecturale stijl voor het ontwerpen van gedistribueerde hypermediasystemen. Een Application Program Interface (API) is een lijst van regels of restricties die ervoor zorgen dat verschillende programma's met elkaar kunnen communiceren. (Hubspire, g.d.)

De combinatie van REST en API is een RESTful API, wanneer een RESTful API gecalled wordt dan zal de server een representatie van de huidige staat van de gevraagde resource weergeven.

### 2.2.1 Design principles

Om een API als RESTful te kunnen beschrijven moet deze voldoen aan zes design principes die hieronder zullen worden verduidelijkt aan de hand van Long (g.d.) en Naeem (2021)

#### **Client-Server**

Dit principe zegt dat zowel de client als de server apart moeten kunnen worden ontwikkeld en moeten los staan van elkaar. Op deze manier wordt de handelbaarheid en schaalbaarheid aanzienlijk verbeterd aangezien de gebruikersinterface los staat van de gegevensopslag.

#### **Stateless**

Met stateless wordt bedoeld dat elke request die er naar de API gedaan wordt onafhankelijk is, een request heeft dus geen resultaat nodig van een andere request om te kunnen verder gaan. Met andere woorden moet de server geen vorige requests en states opslaan wat de benaming 'Stateless' verklaard.

#### **Cacheable**

Een REST API moet de mogelijkheid hebben om data te cachen, dit is het opslaan van data in digitaal geheugen. Volgens het Cacheable principe moet data in een response duidelijk gecategoriseerd worden als cacheable of non-cacheable. Indien een response cacheable is dan mag de cliënt cache deze data opslaan om gelijkaardige requests in de toekomst te beantwoorden.

#### **Uniform interface**

Om aan het client-server principe te voldoen is een uniforme interface nodig die autonome ontwikkeling van de applicatie mogelijk maakt zonder de acties, modellen en services te koppelen aan de API-laag. Door dit principe wordt de hele architectuur gestroomlijnd en wordt de visibiliteit van de communicatie verbeterd. Er zijn echter wel verschillende architecturale controles nodig die de performantie binnen de architectuur sturen om een uniforme interface te bereiken.

REST bevat vier interfacecontroles, namelijk:



1. Identificatie van bronnen: Een Uniform Resource Locator (URL) identificeert de online locatie van een resource.
2. Beheer van bronnen door middel van representatie: Bronnen worden weergegeven aan de hand van media types (N. Freed, 1996) zoals JSON en XML.
3. Zelfbeschrijvende communicatie: Een bericht bevat alle informatie die de ontvanger nodig heeft om de informatie te begrijpen. Er mag geen extra informatie in een aparte documentatie of apart bericht zitten. Deze zelfbeschrijvende communicatie gebeurt door het gebruik van de accept en content-type HTTP headers die de inhoud die verzonden of aangevraagd wordt beschrijft.
4. Hypermedia: Hypermedia is data die verzonden wordt van de server naar de cliënt met informatie over wat de cliënt vervolgens kan doen. Hyper Text Markup Language (HTML) (W3schools, g.d.) is hier een voorbeeld van.

### **Layered system**

De architectuur van een RESTful API bestaat uit verschillende lagen die door samen te werken een hiërarchie vormen die helpt bij het vormen van een flexibele, meer schaalbare applicatie. Dankzij het deze gelaagde structuur is de gevormde applicatie beter beveiligd, dit komt doordat componenten niet kunnen interageren buiten de eigen laag en de volgende laag. Daarnaast biedt het gedeelde caches aan die de schaalbaarheid verbeteren.

Deze gelaagde architectuur zorgt tot slot voor meer stabiliteit doordat het de componenten beperkt zodanig dat een component niet verder kan 'zien' als de laag waarmee het interageert.

### **Code on demand**

Het 'Code on demand' principe zorgt ervoor dat codering kan worden gecommuniceerd via de API voor gebruik binnen de applicatie. De definitie van een RESTful API maakt het mogelijk dat functionaliteit aan de cliënt-kant kan worden uitgebreid door codering zoals applets of scripts te downloaden en te implementeren. Dit stroomlijnt cliënten door het aantal functies te verminderen die vooraf moeten worden geïmplementeerd.

Naast statische resources zoals XML en JSON kan dus ook uitvoerbare code aangeleverd worden door de server.

### **Resources**

Bij REST kan elk stuk informatie een resource zijn, dit kan van alles zijn zoals documenten, services, collecties van andere resources, afbeeldingen, en dergelijke. In sommige gevallen wordt "Everything as a resource" een zevende principe van REST genoemd.

## **2.2.2 Hoe werkt een RESTful API?**

Zoals eerder vermeld in subsectie 2.2.1 heeft elke resource een unieke URL, zo een URL wordt een request genoemd waarbij de geretournde data gekend staat als een response. In een RESTful API worden deze requests of transacties in vier componenten verdeeld zoals

uitgelegd in Karine (2020).

- **GET**: Deze request haalt een representatie van een resource op.
- **PUT**: Met PUT wordt een bestaande resource geupdatet.
- **POST**: Aan de hand van POST kunnen nieuwe resources en sub-resources aangeemaakt worden.
- **DELETE**: De DELETE request gaat een reeds bestaande resource verwijderen.

## 2.3 Protocol Buffers

In dit hoofdstuk zal Protocol Buffers verduidelijkt worden, dit is het dataformaat dat gebruikt zal worden bij de implementatie van gRPC. In dit onderzoek is Protocol Buffers de tegenhanger van JSON.

### 2.3.1 Wat zijn protocol buffers?

Protocol buffers (protobuf) zijn net zoals JSON een manier om data te verzenden of op te slaan in bestanden en is ontwikkeld door Google zoals beschreven door Kurian (2020). Een voorbeeld van een protobuf is te zien in figuur 2.10.

```
syntax = "proto3";

message Person {
  uint64 id = 1;
  string email = 2;
  bool is_active = 3;

  enum PhoneType {
    MOBILE = 0;
    HOME = 1;
    WORK = 2;
  }

  message PhoneNumber {
    string number = 1;
    PhoneType type = 2;
  }

  repeated PhoneNumber phones = 4;
}
```

Figuur 2.10: Een voorbeeld van een .proto bestand. (Kurian, 2020)

Formaten zoals JSON en XML zijn zeer flexibel maar zijn niet geoptimaliseerd voor het uitwisselen van data tussen meerdere microservices (Lewis, 2014) ongeacht het gebruikte

platform. Protobuf is ontwikkeld met het oog op simpliciteit en performantie, om specifiek te zijn was het ontwikkeld om kleiner en sneller te zijn dan XML.

Protobuf onderscheidt zich van andere dataformaten door vele verantwoordelijkheden te verwijderen die normaal door het dataformaat aangepakt worden. Hierdoor gaat protobuf zich vooral focussen op het zo snel mogelijk serialiseren en deserialiseren van data. Daarnaast is een tweede optimalisatie de bandbreedte die gebruikt wordt door het zo klein mogelijk maken van de data die verzonden wordt.

Natuurlijk kan protobufs niet alleen voordelen hebben, een objectief nadeel dat protobuf heeft is dat het minder leesbaar is in vergelijking met JSON en XML.

Er bestaan meerdere versies van Protocol buffers, momenteel is de standaard protocol buffers versie 3 (proto3).

### 2.3.2 Kerneigenschappen

#### Binaire formaat

Protobuf is een binair dataformaat, dit betekent dat de verzonden data omgezet wordt naar ééntjes en nulletjes. Deze eigenschap zorgt voor een verbetering van de transmissiesnelheid doordat het dataformaat minder bandbreedte en ruimte inpakt. Tot slot zorgt de omzetting van string naar binair formaat ook voor compressie, hierdoor zal het CPU gebruik ook lager zijn.

#### Splitsing van context en data

Zoals in 2.11 te zien is maakt een formaat zoals JSON gebruik van key-value paren waar de data en de context in éénzelfde bestand zitten wat ook meer ruimte in beslag neemt. Bij protobuf is dit anders, hier worden data en context opgesplitst in een configuratiebestand ook wel gekend als een .proto bestand, waarin de message wordt gedefinieerd, zie figuur 2.10, en geëncodeerde data die verzonden wordt aan de hand van het configuratiebestand.

```
{
  first_name: "Arun",
  last_name: "Kurian"
}
```

Figuur 2.11: Een simpel voorbeeld van een key-value JSON bestand. (Kurian, 2020)

### 2.3.3 Message formaat

Zoals hierboven vermeld is het configuratiebestand de plaats waarin de context gedefinieerd wordt, met andere woorden wordt hier de structuur van een bepaald object bepaald. Deze structuur wordt als gedeclareerd door het “message” woord gevolgd door een zelfgekozen naam voor de message. Net zoals bij JSON worden de velden gedeclareerd binnen de

accolades, deze velden kunnen elk in vier delen opgedeeld worden, namelijk veldregels, veldtypes, veldnamen en veldnummers (Google, 2020).

### Veldregels

In proto3 wordt enkel nog de “repeated” regel gebruikt, deze regel zegt dat de message dit veld meerdere keren mag bevatten met verschillende waarden. Met andere woorden, duidt dit op een array van een bepaald veldtype.

In proto2 waren er ook de required en optional regels. Required zorgt ervoor dat een message een bepaald veld exact één keer bevat en de optional regel zorgt ervoor dat een message een veld nul of één keer kan bevatten.

### Veldtypes

Het field type is het datatype van een field, dit zijn er vier:

- **Scalaire types:** Dit zijn de traditionele types zoals strings, integers, booleans, ...
- **Enum:** Binnen een message is het mogelijk om een attribuut te hebben dat enkel één van een aantal vooraf bepaalde waarden mag hebben.
- **Message types:** Net zoals bij andere dataformaten is het mogelijk dat een message andere messages als attribuut bevat.

### Veldnamen

Veldnamen moeten volledig in kleine letters zijn en indien ze uit meerdere woorden bestaan moeten deze opgesplitst worden door een underscore. In tegenstelling tot JSON wordt hier dus geen camelcasing gebruikt. Deze conventies zijn vastgelegd omdat dit ook de conventies zijn die gevolgd worden door de Protoc compiler die code gaat genereren op basis van het .proto bestand.

### Veldnummer

Elk veld heeft een uniek nummer, deze nummers worden gebruikt om de velden te identificeren in het binaire formaat. Als gevolg mogen deze niet veranderd worden eens het message type reeds gebruikt is.

## 2.4 gRPC

### 2.4.1 Wat is gRPC?

gRPC is open source Remote Procedure Call (RPC) framework en is in 2015 ontstaan uit zijn voorganger Stubby, deze was een single general-purpose RPC infrastructuur (gRPC Authors, g.d.). Deze technologie laat het toe voor een programma om procedures te starten op andere computers in, eventueel, verschillende ip-ranges aan de hand van een smal communicatiekanaal (Nelson, 1981).

## 2.4.2 Design Principles en requirements

### Geen objecten maar services en Messages in plaats van Referenties

Hiermee is het de bedoeling om de mircoservices design filosofie van coarse-grained berichtenuitwisseling te promoten zonder de problemen van gedistribueerde objecten (Fowler, 2014) en de valkuilen van het negeren van het netwerk (Rotem-Gal-Oz, 2008) te hebben.

### Coverage en Simpliciteit

gRPC moet beschikbaar zijn op elk populair ontwikkelplatform en moet gemakkelijk zijn om op te bouwen op een platform naar keuze. Alsook moet gRPC werken op toestellen die CPU en geheugen gelimiteerd zijn.

### Gratis en Open

De fundamentele features van gRPC zijn gratis om te gebruiken en alle artifacten worden gereleased als open-source efforts, hierbij moet licensing er voor zorgen dat het aannemen van het framework wordt vergemakkelijkt en niet vermoeilijkt.

### Interoperabiliteit en Bereik

Het wire protocol moet zonder problemen kunnen reizen doorheen de internet infrastructuur.

### Algemeen Doel en Performant

De stack moet bruikbaar zijn in een grote aanbod van use-cases zonder dat performantie verloren gaat ten opzichte van specifieke stack voor die use-case.

### Gelaagd

Onderdelen van de stack moeten zich individueel evolueren, bij het updaten van het wire-formaat met het vernieuwde onderdeel mogen de bindingen tussen de applicatielagen niet verstoord worden.

### Payload Agnostisch

gRPC en de implementatie ervan zorgen ervoor dat elke service een andere message type en encoding systeem kan gebruiken zoals protocol buffers en JSON. Alsook zorgt gRPC er voor dat verschillende payload compressie mechanismes kunnen gebruikt worden aangezien deze kunnen verschillen per use-case.

### Streaming

gRPC moet bruikbaar zijn met streaming, onder andere opslagsystemen maken hier gebruik van samen met flow control om grote data-sets uit te drukken. Er zijn ook andere services zoals voice-to-text die afhankelijk zijn van streaming voor berichtsequenties te

representeren die een tijdelijke relatie hebben met elkaar.

### **Blocking en Non-Blocking**

gRPC ondersteund zowel asynchrone als synchrone processing van de data uitwisseling tussen client en server. Deze requirement is van groot belang op vlak van schaalbaarheid en het omgaan met streams.

### **Annulering en Timeout**

Doordat sommige operaties lang en “duur” kunnen zijn op vlak van resources laat annulering het toe voor een server om de resources terug ter beschikking te zetten wanneer clients zich goed gedragen. Annulering kan ook cascaden wanneer een causale keten is gedetecteerd.

### **Lameducking**

Een server moet zich kunnen afsluiten door reeds lopende requests af te werken maar geen nieuwe requests meer te accepteren.

### **Flow Control**

Flow control zorgt voor betere buffer management dat kan ontstaan door een onevenwichtige balans van computing power en netwerk capaciteit tussen client en server. Als ook biedt flow control bescherming tegen DOS door een over actieve peer.

### **Pluggable**

Een wire protocol zoals gRPC is enkel een onderdeel van een API infrastructuur. Implementaties van gRPC moeten extensiepunten voorzien voor het inpluggen van features zoals logging, health-checking, tracing,... en indien nuttig een basis implementatie van de feature.

### **Extensies als APIs**

Extensies waarvoor een samenwerking tussen meerdere services nodig is moeten de voorkeur hebben van een API te gebruiken in plaats van protocol extensies. Voorbeelden van zulke extensies zijn health-checking en load-monitoring.

**Metadata uitwisseling** Zaken zoals authenticatie zijn afhankelijk van het gebruik van metadata, dit is data die geen onderdeel is van de gegevensuitwisseling die gedefinieerd is in de interface of service.

**Gestandaardiseerde statuscodes** Er zijn voor de client maar een gelimiteerd aantal manieren voor het omgaan met error die verkegen zijn van de API. Om de error handling beslissingen duidelijker te maken moet de statuscode namespace afgebakend worden, indien er meer specifieke statussen nodig zijn kan hiervoor metadata gebruikt worden.

### 2.4.3 Werking van gRPC

Bij gRPC kan een client applicatie een bepaalde methode die op een remote server draait rechtstreeks aanspreken alsof het een lokaal object zou zijn, dit maakt het gemakkelijk voor het gebruiken van distribueerde applicaties en services.

gRPC definieert net zoals in vele RPC systemen, een service waarin de methodes die kunnen worden aangeroepen worden gespecificeerd samen met hun parameters en return types. Deze interface wordt op de server geïmplementeerd en draait een gRPC server om client calls af te handelen. De client heeft een stub die dezelfde methodes als de server bevat.

Op deze manier kunnen gRPC servers en clients draaien en tegen elkaar praten in verschillende omgevingen. Dit laat het bijvoorbeeld toe om een gRPC server in C# te draaien met clients die draaien in Python of dergelijke.

Standaard worden door gRPC Protocol Buffers gebruikt, hierbij worden de services gedefinieerd in ordinaire proto bestanden met RPC methode parameters en return types als protocol buffer messages. Aan de hand van het protoc commando samen met een gRPC plugin wordt automatisch client en server code gegenereerd op basis van het proto bestand samen met de standaard protobuf code voor het populieren, serialiseren en ophalen van de gespecificeerde message types.





### 3. Methodologie

Etiam pede massa, dapibus vitae, rhoncus in, placerat posuere, odio. Vestibulum luctus commodo lacus. Morbi lacus dui, tempor sed, euismod eget, condimentum at, tortor. Phasellus aliquet odio ac lacus tempor faucibus. Praesent sed sem. Praesent iaculis. Cras rhoncus tellus sed justo ullamcorper sagittis. Donec quis orci. Sed ut tortor quis tellus euismod tincidunt. Suspendisse congue nisl eu elit. Aliquam tortor diam, tempus id, tristique eget, sodales vel, nulla. Praesent tellus mi, condimentum sed, viverra at, consectetur quis, lectus. In auctor vehicula orci. Sed pede sapien, euismod in, suscipit in, pharetra placerat, metus. Vivamus commodo dui non odio. Donec et felis.

Etiam suscipit aliquam arcu. Aliquam sit amet est ac purus bibendum congue. Sed in eros. Morbi non orci. Pellentesque mattis lacinia elit. Fusce molestie velit in ligula. Nullam et orci vitae nibh vulputate auctor. Aliquam eget purus. Nulla auctor wisi sed ipsum. Morbi porttitor tellus ac enim. Fusce ornare. Proin ipsum enim, tincidunt in, ornare venenatis, molestie a, augue. Donec vel pede in lacus sagittis porta. Sed hendrerit ipsum quis nisl. Suspendisse quis massa ac nibh pretium cursus. Sed sodales. Nam eu neque quis pede dignissim ornare. Maecenas eu purus ac urna tincidunt congue.

Donec et nisl id sapien blandit mattis. Aenean dictum odio sit amet risus. Morbi purus. Nulla a est sit amet purus venenatis iaculis. Vivamus viverra purus vel magna. Donec in justo sed odio malesuada dapibus. Nunc ultrices aliquam nunc. Vivamus facilisis pellentesque velit. Nulla nunc velit, vulputate dapibus, vulputate id, mattis ac, justo. Nam mattis elit dapibus purus. Quisque enim risus, congue non, elementum ut, mattis quis, sem. Quisque elit.

Maecenas non massa. Vestibulum pharetra nulla at lorem. Duis quis quam id lacus dapibus interdum. Nulla lorem. Donec ut ante quis dolor bibendum condimentum. Etiam egestas

tortor vitae lacus. Praesent cursus. Mauris bibendum pede at elit. Morbi et felis a lectus interdum facilisis. Sed suscipit gravida turpis. Nulla at lectus. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Praesent nonummy luctus nibh. Proin turpis nunc, congue eu, egestas ut, fringilla at, tellus. In hac habitasse platea dictumst.

Vivamus eu tellus sed tellus consequat suscipit. Nam orci orci, malesuada id, gravida nec, ultricies vitae, erat. Donec risus turpis, luctus sit amet, interdum quis, porta sed, ipsum. Suspendisse condimentum, tortor at egestas posuere, neque metus tempor orci, et tincidunt urna nunc a purus. Sed facilisis blandit tellus. Nunc risus sem, suscipit nec, eleifend quis, cursus quis, libero. Curabitur et dolor. Sed vitae sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Maecenas ante. Duis ullamcorper enim. Donec tristique enim eu leo. Nullam molestie elit eu dolor. Nullam bibendum, turpis vitae tristique gravida, quam sapien tempor lectus, quis pretium tellus purus ac quam. Nulla facilisi.

## 4. Conclusie

Curabitur nunc magna, posuere eget, venenatis eu, vehicula ac, velit. Aenean ornare, massa a accumsan pulvinar, quam lorem laoreet purus, eu sodales magna risus molestie lorem. Nunc erat velit, hendrerit quis, malesuada ut, aliquam vitae, wisi. Sed posuere. Suspendisse ipsum arcu, scelerisque nec, aliquam eu, molestie tincidunt, justo. Phasellus iaculis. Sed posuere lorem non ipsum. Pellentesque dapibus. Suspendisse quam libero, laoreet a, tincidunt eget, consequat at, est. Nullam ut lectus non enim consequat facilisis. Mauris leo. Quisque pede ligula, auctor vel, pellentesque vel, posuere id, turpis. Cras ipsum sem, cursus et, facilisis ut, tempus euismod, quam. Suspendisse tristique dolor eu orci. Mauris mattis. Aenean semper. Vivamus tortor magna, facilisis id, varius mattis, hendrerit in, justo. Integer purus.

Vivamus adipiscing. Curabitur imperdiet tempus turpis. Vivamus sapien dolor, congue venenatis, euismod eget, porta rhoncus, magna. Proin condimentum pretium enim. Fusce fringilla, libero et venenatis facilisis, eros enim cursus arcu, vitae facilisis odio augue vitae orci. Aliquam varius nibh ut odio. Sed condimentum condimentum nunc. Pellentesque eget massa. Pellentesque quis mauris. Donec ut ligula ac pede pulvinar lobortis. Pellentesque euismod. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent elit. Ut laoreet ornare est. Phasellus gravida vulputate nulla. Donec sit amet arcu ut sem tempor malesuada. Praesent hendrerit augue in urna. Proin enim ante, ornare vel, consequat ut, blandit in, justo. Donec felis elit, dignissim sed, sagittis ut, ullamcorper a, nulla. Aenean pharetra vulputate odio.

Quisque enim. Proin velit neque, tristique eu, eleifend eget, vestibulum nec, lacus. Vivamus odio. Duis odio urna, vehicula in, elementum aliquam, aliquet laoreet, tellus. Sed velit. Sed vel mi ac elit aliquet interdum. Etiam sapien neque, convallis et, aliquet vel, auctor non, arcu. Aliquam suscipit aliquam lectus. Proin tincidunt magna sed wisi. Integer blandit

lacus ut lorem. Sed luctus justo sed enim.

Morbi malesuada hendrerit dui. Nunc mauris leo, dapibus sit amet, vestibulum et, commodo id, est. Pellentesque purus. Pellentesque tristique, nunc ac pulvinar adipiscing, justo eros consequat lectus, sit amet posuere lectus neque vel augue. Cras consectetur libero ac eros. Ut eget massa. Fusce sit amet enim eleifend sem dictum auctor. In eget risus luctus wisi convallis pulvinar. Vivamus sapien risus, tempor in, viverra in, aliquet pellentesque, eros. Aliquam euismod libero a sem.

Nunc velit augue, scelerisque dignissim, lobortis et, aliquam in, risus. In eu eros. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Curabitur vulputate elit viverra augue. Mauris fringilla, tortor sit amet malesuada mollis, sapien mi dapibus odio, ac imperdiet ligula enim eget nisl. Quisque vitae pede a pede aliquet suscipit. Phasellus tellus pede, viverra vestibulum, gravida id, laoreet in, justo. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Integer commodo luctus lectus. Mauris justo. Duis varius eros. Sed quam. Cras lacus eros, rutrum eget, varius quis, convallis iaculis, velit. Mauris imperdiet, metus at tristique venenatis, purus neque pellentesque mauris, a ultrices elit lacus nec tortor. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent malesuada. Nam lacus lectus, auctor sit amet, malesuada vel, elementum eget, metus. Duis neque pede, facilisis eget, egestas elementum, nonummy id, neque.

# A. Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

## A.1 Introductie

Zonder dat het te weten of te beseffen maakt de internetgebruiker continue gebruik van dataformaten en protocollen. Deze komen in verschillende soorten, XML, JSON, Protocol Buffers, GraphQL, ... Deze data formaten zorgen aan de hand van een achterliggende implementatie in een Application Programming Interface (API) voor dat mensen hun vrienden hun nieuwe Facebook of Instagrampost kunnen zien in een internetbrowser of op een app. APIs maken het meest gebruik van XML en JSON, indien toch een dominerend formaat gekozen moet worden zal dit JSON zijn. JSON is veel sneller om te lezen en te schrijven dan XML.

Echter wil dit niet zeggen dat JSON het snelste data formaat is. De Fashion Society is een moederbedrijf met verschillende kledingsketens onder zich. Om alles vlot te laten verlopen wordt gebruik gemaakt van een centraal beheersysteem voor zowat alles dat nodig is, dit houdt in maar is niet beperkt tot pickorders, webshops, ... Dit interne systeem maakt gebruik van het Façade patroon, dit is een structuur waar er maar één toegangspunt is tot een collectie objecten met diensten en services. In het Façade patroon van de Fashion Society is de Orchestrator het toegangspunt tot een collectie van meerdere API's, deze krijgt een request binnen voor een bepaalde service of dienst maar weet niet naar welke hij deze request moet doorsturen. Om dit op te lossen wordt gebruik gemaakt van de Discovery API, de Orchestrator zal deze aanroepen en de Discovery zal vervolgens de

juiste Service ophalen en terugsturen naar de Orchestrator zodanig dat deze de originele request kan doorsturen naar de correcte API.

De Fashion Society wordt alsmaar groter en is op zoek naar een manier om de Discovery API performanter te laten wezen om zo meer realtime requests te kunnen afhandelen. De huidige Discovery API is een REST API dat gebruik maakt van JSON. In deze Bachelorproef zal onderzocht worden of Protocol Buffers geïmplementeerd aan de hand van gRPC eventueel een even performant of zelfs performanter alternatief kan zijn voor de huidige implementatie van de Fashion Society dat gebruik maakt van een REST API met JSON. De bijhorende onderzoeksvragen zullen dan ook als volgt zijn:

- Is gRPC met ProtocolBuffers sneller dan een REST API met JSON?
- Is gRPC met ProtocolBuffers efficiënter dan een REST API met JSON?

## A.2 State-of-the-art

gRPC is open source Remote Procedure Call (RPC) framework en is in 2015 ontstaan uit zijn voorganger Stubby, deze was een single general-purpose RPC infrastructuur (gRPC Authors, g.d.). Deze technologie laat het toe voor een programma om procedures te starten op andere computers in, eventueel, verschillende adresruimten aan de hand van een smal communicatiekanaal (Nelson, 1981). gRPC zelf is geen dataformaat zoals JSON maar kan gebruik maken van verschillende data formaten, standaard is dit Protocol buffers, ook wel Protobufs genoemd.

JSON en Protocol Buffers hebben zowel gelijkenissen als grote verschillen, beide zijn een language-neutral dataformaat zo blijkt uit de documentatie van Protocol Buffers (Google, g.d.) en JSON (ECMA, 2017). Het grootste, visuele verschil voor de gebruiker is te vinden in de structuur. JSON is een collectie van naam/value paren of een geordende lijst van waarden, daarentegen maken Protobufs gebruik van een soort model, er moet maar eenmaal gedefinieerd worden hoe de data gestructureerd zal zijn, daarna kan gebruik gemaakt worden van gegenereerde code om gemakkelijk data van en naar een variëteit van data streams te lezen en schrijven. Dit kan allemaal geprogrammeerd worden in heel wat verschillende programmeertalen.

gRPC wordt reeds gebruikt door verschillende grote bedrijven zoals Cisco en Netflix. Cisco gebruikt gRPC als het ideale, uniforme transportprotocol voor modelgestuurde configuratie en telemetrie. Dit komt dankzij de ondersteuning voor hoogwaardige bidirectionele streaming, op TLS gebaseerde beveiliging en het brede scala aan programmeertalen. Netflix koos dan weer voor gRPC omdat ze belang hechtte aan de architectonische kennis in de IDL (proto) dat een onderdeel is van gRPC en aan de, van deze proto-afgeleide, codegeneratie. Daarnaast speelde ook de cross-language compatibility en codegeneratie in gRPC een belangrijke rol bij de keuze voor gRPC bij Netflix (Foundation, 2018).

Eerder werd er nog geen officieel onderzoek uitgevoerd naar dit onderwerp, echter zijn wel online artikels te vinden die gRPC met REST gaan vergelijken aan de hand van een benchmark. Eén zo een onderzoek is uitgevoerd door Fernando (2019). Dit onderzoek was

een benchmark tussen gRPC met Protocol Buffers en REST met JSON concludeerd dat gRPC sneller was dan REST behalve bij het streamen van data, hier is gRPC iets trager als REST.

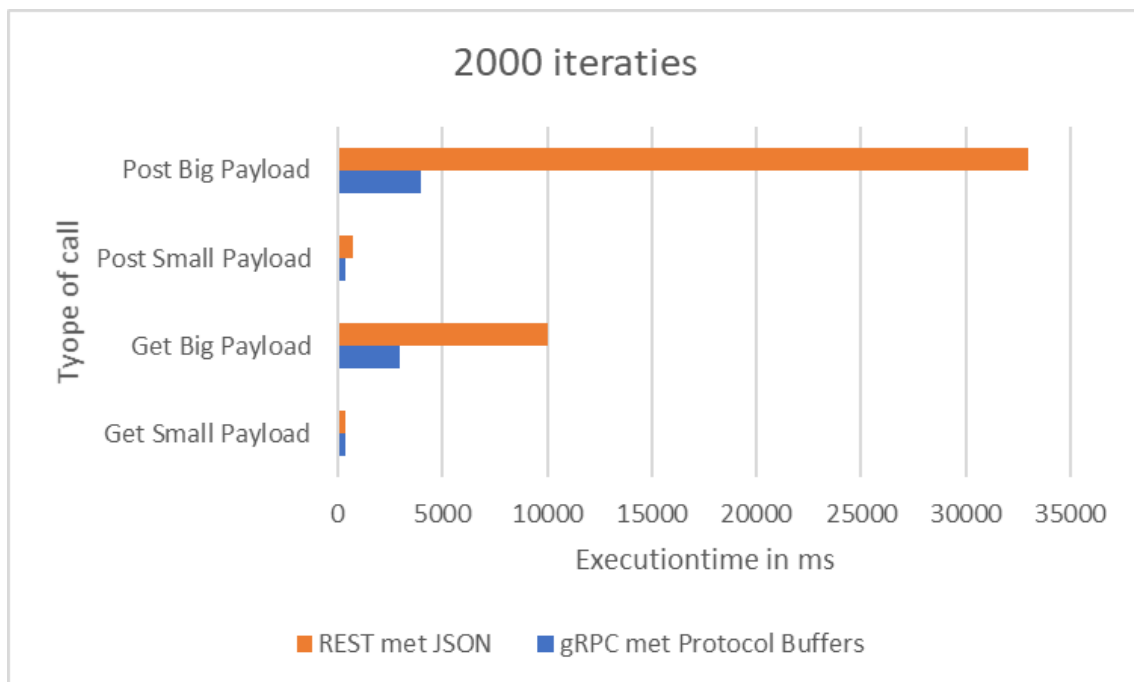
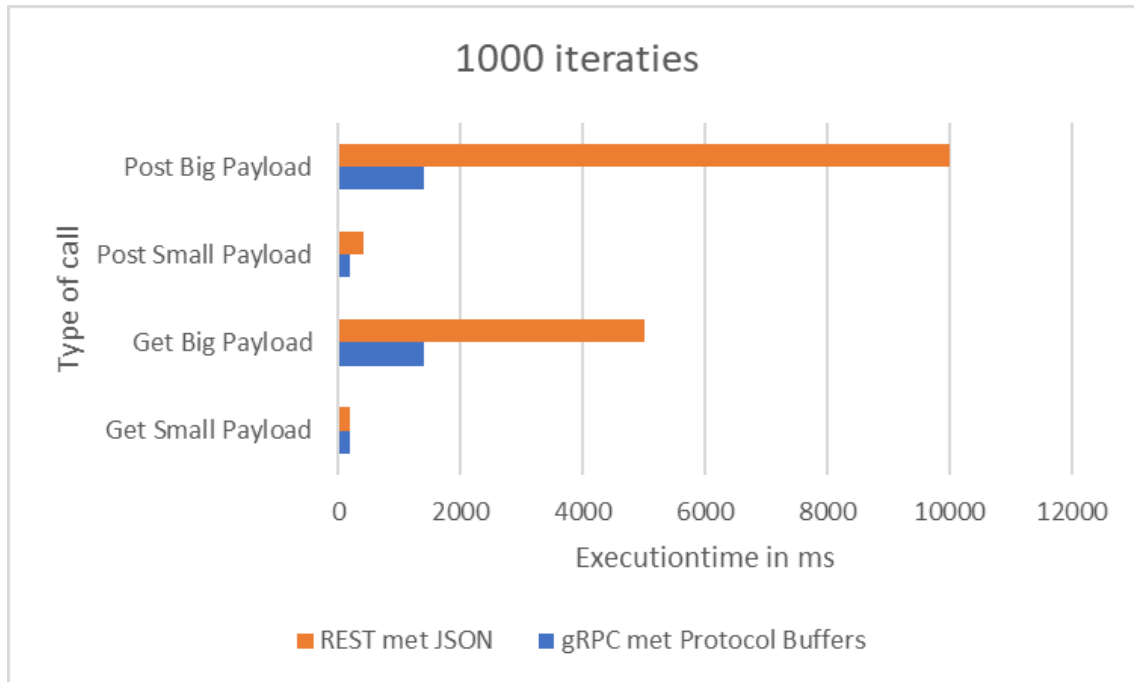
Het onderzoek dat in deze Bachelorproef zal uitgevoerd worden is gebaseerd op dat van Ruwan Fernando, hiermee wordt bedoeld dat deze proof-of-concept geprogrammeerd zal worden in C# en dat de verschillende implementaties met elkaar vergeleken zullen worden aan de hand van een benchmark. Het verschil met Fernando R. zijn onderzoek kan men vinden in de verwerking van de data, in dit onderzoek zal de data uit een aanhangende databank gehaald worden. Alsook zal in dit onderzoek een tienvoud van het aantal iteraties doen.

## A.3 Methodologie

Het onderzoek zal gevoerd worden aan de hand van simulaties en experimenten in een Proof-of-Content (PoC). Er zullen 2 identieke APIs opgesteld worden in C#, een .NET Core REST API voor JSON, en .NET Core API voor gRPC. Aan de hand van een benchmark tool, dewelke nog niet specifiek gekozen is, zullen er 2 verschillende categorieën aan GET en POST calls uitgevoerd worden. Big payload calls, hier zal substantief meer data opgehaald en verzonden worden dan bij de Small payload calls. Daarnaast zal het experiment meerdere malen uitgevoerd worden met 1000 en 2000 iteraties, dit om inaccurate metingen van kleine uitvoertijden te verminderen en een duidelijke conclusie te kunnen vormen. Eens de resultaten van de experimenten verzameld zijn zullen we deze vergelijken en conclusies trekken.

## A.4 Verwachte resultaten

Bij de grote payloads wordt een duidelijk verschil in voordeel van gRPC en Protocol Buffers verwacht, echter wordt er wel ook verwacht dat REST API met JSON in de kleine payloads nog degelijk zal presteren en misschien zelf nog licht overwegend beter zal zijn dan gRPC en Protocol Buffers.



## A.5 Verwachte conclusies

Dit onderzoek moet doen blijken of gRPC en Protocol Buffers sneller en efficiënter zijn dan een REST API met JSON. In de PoC zal duidelijk worden dat gRPC en Protocol Buffers een sneller en efficiënter alternatief zijn voor JSON. Dit resultaat zou eventueel verklaard kunnen worden doordat JSON een ouder dataformaat is en dus niet geoptimaliseerd is voor de huidige technologieën terwijl gRPC zeer recent ontworpen is



---

om optimaal met de huidige technologieën om te gaan.



## B. Copyright Notice Ecma International

"COPYRIGHT NOTICE © 2017 Ecma International

This document (ECMA, 2017) may be copied, published and distributed to others, and certain derivative works of it may be prepared, copied, published, and distributed, in whole or in part, provided that the above copyright notice and this Copyright License and Disclaimer are included on all such copies and derivative works. The only derivative works that are permissible under this Copyright License and Disclaimer are:

- (i) works which incorporate all or portion of this document for the purpose of providing commentary or explanation (such as an annotated version of the document),
- (ii) works which incorporate all or portion of this document for the purpose of incorporating features that provide accessibility,
- (iii) translations of this document into languages other than English and into different formats and
- (iv) works by making use of this specification in standard conformant products by implementing (e.g. by copy and paste wholly or partly) the functionality therein.

However, the content of this document itself may not be modified in any way, including by removing the copyright notice or references to Ecma International, except as required to translate it into languages other than English or into a different format.

The official version of an Ecma International document is the English language version on the Ecma International website. In the event of discrepancies between a translated version and the official version, the official version shall govern.

The limited permissions granted above are perpetual and will not be revoked by Ecma International or its successors or assigns.

This document and the information contained herein is provided on an "AS IS" basis and ECMA INTERNATIONAL DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY THAT THE USE OF THE INFORMATION HEREIN WILL NOT INFRINGE ANY OWNERSHIP RIGHTS OR ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

## Bibliografie

- Crockford, D. (g.d.). *Introducing JSON*. Verkregen 4 april 2021, van <https://www.json.org>
- ECMA. (2017). *The JSON Data Interchange Syntax*. ECMA International. Verkregen 16 december 2020, van <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST-ARCH/ECMA-404%201st%20edition%20October%202013.pdf>
- Fernando, R. (2019, april 3). *Evaluating Performance of REST vs. gRPC*. <https://medium.com/@EmperorRXF/evaluating-performance-of-rest-vs-grpc-1b8bdf0b22da>
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures* (proefschrift). University of California, Irvine.
- Foundation, C. N. C. (2018, december 4). *Netflix: Increasing developer productivity and defeating the thundering herd with gRPC*. <https://www.cncf.io/case-studies/netflix/>
- Fowler, M. (2014, augustus 13). *Microservices and the first law of distributed objects*. Verkregen 11 april 2021, van <https://martinfowler.com/articles/distributed-objects-microservices.html>
- Google. (g.d.). *Protocol Buffers*. Google. <https://developers.google.com/protocol-buffers>
- Google. (2020, december 17). *Protocol Buffers Language guide*. <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/overview>
- gRPC Authors. (g.d.). *gRPC, A high-performance, open source universal RPC framework*. <https://grpc.io/>
- Hubspire. (g.d.). *Application Programming Interface*. Verkregen 21 maart 2021, van <https://www.hubspire.com/resources/general/application-programming-interface/>
- Karine, S. (2020, maart 29). *REST API*.
- Kurian, A. M. (2020, april 22). *Understanding Protocol Buffers*. <https://betterprogramming.pub/understanding-protocol-buffers-43c5bced0d47>
- Lewis, M. F. J. (2014, maart 25). *Microservices*. <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>

- Long, L. (g.d.). *What RESTful actually means* (A. M. A. Vakil, Red.). Verkregen 21 maart 2021, van <https://codewords.recurse.com/issues/five/what-restful-actually-means>
- N. Freed, N. B. (1996). *Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) Part One: Format of Internet Message Bodies*. Verkregen 14 maart 2021, van <https://tools.ietf.org/html/rfc2045>
- Naeem, T. (2021, februari 4). *REST API Definition: What is REST API (RESTful API)?* Astera. Verkregen 21 maart 2021, van <https://www.astera.com/type/blog/rest-api-definition/>
- Nelson, B. J. (1981). *Remote Procedure Call* (proefschrift). Carnegie-Mellon University. [https://ia801900.us.archive.org/22/items/bitsavers\\_xeroxparcoteProcedureCall\\_14151614/CSL-81-9\\_Remote\\_Procedure\\_Call.pdf](https://ia801900.us.archive.org/22/items/bitsavers_xeroxparcoteProcedureCall_14151614/CSL-81-9_Remote_Procedure_Call.pdf)
- Rotem-Gal-Oz, A. (2008, januari 1). *Fallacies of Distributed Computing Explained*. [https://www.researchgate.net/publication/322500050\\_Fallacies\\_of\\_Distributed\\_Computing\\_Explained](https://www.researchgate.net/publication/322500050_Fallacies_of_Distributed_Computing_Explained)
- W3schools. (g.d.). *HTML Introduction*. Verkregen 21 maart 2021, van [https://www.w3schools.com/html/html\\_intro.asp](https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp)