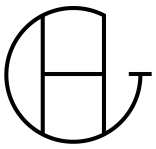


HoGent

Faculteit Bedrijf en Organisatie

# Opslag en synchronisatie van offline data bij mobiele applicaties

Simon Jang

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

Promotor:
Stefaan De Cock
Co-promotor:
Sam Verschueren

Instelling: Pridiktiv.care - into.care

Academiejaar: 2016-2017

Tweede examenperiode

Faculteit Bedrijf en Organisatie

# Opslag en synchronisatie van offline data bij mobiele applicaties

Simon Jang

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

Promotor:
Stefaan De Cock
Co-promotor:
Sam Verschueren

Instelling: Pridiktiv.care - into.care

Academiejaar: 2016-2017

Tweede examenperiode

# Samenvatting

Mobiele applicatieontwikkeling beschouwt toegang tot internet vaak als vanzelfsprekend wanneer een mobiele applicatie wordt gebruikt. Dit is echter niet het geval in elke (werk)omgeving. Daarom moet de ontwikkelaar ervoor zorgen dat de applicatie de data ook lokaal kan opslaan indien de wijzigingen niet meteen kunnen worden doorgevoerd naar de achterliggende infrastructuur. Dit probleem vormt voor ontwikkelaars een uitdaging omdat de data integriteit moet worden gewaarborgd wanneer het toestel terug verbonden is met het Internet. Het gebruik van een performante en betrouwbare methode voor de data die offline wordt ingegeven te synchroniseren met de online cloud-based databank is dus essentieel. Hierbij is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen use cases waarbij de developer gebruik maakt van fully-managed databases zoals onder andere DynamoDB van Amazon Web Services en use cases waarbij men zelf de database(s) beheert op verschillende virtuele machines. In het onderzoek is synchronisatie specifiek onderzocht voor de fully-managed database DynamoDB, een backend die gebruikt maakt van een serverless microservices architectuur en een Angular applicatie als client applicatie.

Na onderzoek en reserach is gebleken dat er verschillende manieren van synchronisatie zijn. Technologieën als CouchDB en Firebase automatiseren het synchronisatieproces. Maar wanneer men zelf de synchronisatie wenst te realiseren is het belangrijk om de verschillende use cases onder te verdelen volgens synchronisatie methode en zo verder te werken. Er zijn scenario's waar er geen conflicten zijn maar performantie de belangrijkste factor is bv. Read-Only Optimised. Wanneer er conflicten optreden kan men dan kiezen voor First Write Wins of Last Write Wins waarbij er onvermijdelijk data verloren gaat of andere strategieën van conflict resolution. Caching speelt een belangrijke rol in de transitie van online naar offline en synchronisatie is belangrijk bij de overgang van offline naar online. Met behulp van caching en synchronisatie is het mogelijk om een robuuste applicatie te ontwikkelen waarbij data integriteit en functionaliteit worden gegarandeerd.

# Voorwoord

Mijn interesse in mobiele- en web applicaties was voor mij de reden om de opleiding Toegepaste Informatica aan de Hogeschool Gent te starten. Deze bachelorproef vormt het sluitstuk in mijn opleiding en de keuze van het onderwerp is tot stand gekomen door de samenwerking met mijn stageplaats Pridiktiv.care - into.care. Er was nood aan een onderzoek naar offline data opslag en synchronisatie bij hun mobiele applicatie. Met de groei van IoT en de digitalisering binnen verschillende sectoren, lijkt offline en online synchronisatie relevanter dan ooit.

Het schrijven van een bachelorpaper is geen eenvoudige opdracht en ik zou daarom enkele personen willen bedanken voor hun ondersteuning en expertise. Eerst en vooral wil ik mijn co-promotor en stage-mentor Sam Verschueren bedanken voor zijn inzet en geduld bij de talloze vragen die ik het gesteld in verband met webontwikkeling. Daarnaast ben ik ook zeer dankbaar voor de intense begeleiding en feedback die ik heb ontvangen van mijn promotor Stefaan De Cock. Tenslotte wil ook mijn partner en vrienden bedanken voor de hulp die ze hebben aangeboden bij het lezen van mijn bachelorproef en de morele ondersteuning.

# Inhoudsopgave

# 1. Glossarium

**Single-Page Application, SPA** : Een single-page application (SPA) is een web applicatie of website waarbij noodzakelijke HTML, CSS en JavaScript dynamisch wordt ingeladen of bij de eerste page load. De volledige pagina wordt bij een SPA nooit volledig herladen. Het is wel mogelijk dat onderdelen van de pagina dynamisch wordt gewijzigd. De data van de SPA wordt dynamisch opgevraagd van de web server. Met SPA is mogelijk een om efficiënt om te springen met de beschikbare bandbreedte.

**Angular CLI** : Angular CLI is een command line interface tool waarbij een volledige Angular project wordt gebouwd met minimale configuratie. Er wordt een basis structuur, tests, root module en root component aangemaakt. Met behulp van Webpack worden alle files dan gebundeld in enkele static files. Met Angular CLI wordt er heel wat tijd uitgespaard omdat een groot deel van de configuratie wegvalt. Angular CLI wordt gebruikt de business case van Pridiktiv.

**Progressive enhancement** : Progressive enhancement is een ontwikkelstrategie bij web development waarbij de focus wordt gelegd op de belangrijkste business requirements die de web applicatie of website moet invullen. Afhankelijk van de browser en de connectie van de eindgebruiker, kunnen er 'lagen' van functionaliteit (features) worden toegevoegd aan de applicatie of website. Met deze strategie kan een website of web applicatie zich aanpassen aan de eindgebruiker en altijd een basisfunctionaliteit garanderen.

**Single Source Of Truth, SSOT** : In de context van het ontwerp van informatica systemen is de single source of truth een techniek om data op een bepaalde manier te structureren zodat die niet gedupliceerd wordt binnen de applicatie en alle referenties verwijzen naar dezelfde 'bron'. Alle informatie wordt opgehaald in een centraal punt en dat is voor de applicatie en haar componenten de enige plaats waar die informatie kan worden opgehaald. De ngrx/redux store vervult die rol in een Angular applicatie.

**Conflict resolution** : Een applicatie kan data van een remote databank lokaal opslaan voor offline functionaliteit aan te bieden aan de gebruiker. Wanneer de applicatie terug online gaat en de applicatie of remote databank een verschil opmerkt, dan is er sprake van een conflict. Conflict resolution duidt op de methode(s) die worden gebruikt voor het synchroniseren van de data tussen de verschillende databanken.

**Serverless computing** : Een andere naam voor Function as a Service (FaaS) is een cloud-computing executie model waarbij de cloud provider het opstarten en stoppen van een functie volledig zelf beheert. Het opstarten van een functie is op basis van een event. een mogelijk event is bijvoorbeeld een API call naar een HTTP endpoint van een functie. Met serverless computing hoeft een developer zich niet bezig te houden met het configureren en beheren van verschillende servers of virtual machines. Daarnaast spelen schaalbaarheid en kostenefficiëntie ook een belangrijke rol bij serverless computing. Als FaaS-gebruiker betaal je enkel voor de executietijd en wanneer er meer rekencapaciteit nodig is, gebeurt de schaling volledig automatisch.

**ReactiveX** : Reactive Extensions is een verzameling van operatoren die imperatieve[1] programmeertalen toelaten om een datasequentie te verwerken zonder rekening te houden met het (a)synchrone karakter van de data.

**Event-driven Architectuur** : Een software architectuur waarbij de verschillende componenten events genereren, detecteren en op een gepaste manier reageren. De event-driven architectuur vormt de basis van ReactiveX en serverless computing.

**Asynchroon** : Asynchroon of 'Asynchronous' in de context van web development wil zeggen dat een bepaalde handeling niet real-time maar periodiek van aard is. Dit is belangrijk wanneer gebruikers geen stabiele verbinding hebben tot een netwerk, wanneer men optimaal gebruik wenst te maken van de beschikbare bandbreedte of eenvoudigweg bij het uitvoeren van een HTTP request. Een voorbeeld is RxJS dat gebaseerd is op de ReactiveX library en volledig gebouwd rond asynchroon programmeren.

**Polling** : Bij polling (of pulling) controleert een applicatie met een vast interval of er op een invoer -of uitvoerapparaat nieuwe data beschikbaar is. Het interval of frequentie wanneer de applicatie polling uitvoert, noemt de pollfrequentie. Polling wordt steeds geïnitialiseerd door de ontvanger van de informatie. Te frequente polling kan een negatieve impact hebben op de performantie van de databron.

**Pushing** : Bij push technologie wordt de request voor een datatransactie geïnitialiseerd door de server of 'publisher' van de informatie via internet. Een variant is het push/subscriber model waarbij clients

**Microservices Architecture** : Microservices is een architectuur voor het opstellen van server-side enterprise applicaties. Daarbij worden alle onderdelen opgebouwd als een set van losgekoppelde en samenwerkende services. Elke service heeft een beperkte functionaliteit en een beperkte verantwoordelijkheid die kan worden aangeroepen door andere microservices. Dankzij microservices is het mogelijk om om de functionaliteit van een monolitische backend op te delen in verschillende kleine services.

[1] Imperatieve programmeertalen kunnen de state van een applicatie veranderen. JavaScript is een voorbeeld van een imperatieve programmeertaal

# 2. Inleiding

Het onderzoek zal verschillende methodes voor offline opslag en synchronisatie analyseren en onderzoeken. Het onderzoek zal van elke methode de voor- en nadelen overlopen. In de sectie 2.1 'Business case' wordt de business case van Pridiktiv.care - into.care toegelicht. Daarna worden in sectie 2.2 'Terminologie' de verschillende relevante termen overlopen. In sectie 2.3 'Stand van zaken' komt de context en noodzaak van het onderzoek aan bod. Tenslotte volgt de probleemstelling, de onderzoeksvraag en de opzet van de bachelorproef.

## 2.1 Business Case

### 2.1.1 Voorstelling bedrijf

Pridiktiv - into.care is een start-up die een mobiel platform aanbiedt aan zorgverstrekkers om de administratielast te verlichten. Op die manier is er meer tijd voor zorg en verliezen de zorgverleners minder tijd bij het invullen van documenten. UX[1] en mobile vormen de speerpunten van de business doelstellingen en vormen de belangrijkste factoren om zich te onderscheiden van andere concurrenten. Op termijn wil de start-up een modern, mobile-friendly ERP-systeem aanbieden aan woonzorgcentra.

[1] UX staat voor User Experience. Een verzamelnaam die alle emoties capteert die gebruikers ervaren bij het gebruiken van een product.

### 2.1.2 Context en probleemstelling van de business case

De applicatie draait op een smartphone in een woonzorgcentrum. Het woonzorgcentrum beschikt over draadloos internet maar de internetdekking in het gebouw is niet volledig. Dus moet de applicatie ook offline werken. Wanneer verschillende waarden worden geregistreerd met de applicatie (zoals bloeddruk, gewicht, inname medicatie) worden die offline opgeslagen in een IndexedDB. Wanneer het toestel terug online komt, moeten deze waarden worden doorgestuurd naar de backend. Het is essentieel dat er geen data verloren gaat aangezien het gaat om medische data. Bij de start van het onderzoek gebruikte de applicatie een algoritme die een HTTP call uitvoert wanneer een waarde wordt ingegeven. Wanneer dit niet lukt, veronderstelt het algoritme dat de applicatie offline is en worden de data lokaal opgeslagen. Wanneer het toestel terug online komt, dan worden de offline data gesynchroniseerd met de server. De realiteit wijst echter uit dat betrouwbaar internet eerder uitzonderlijk is in een woonzorgcentrum. In deze context is er dus nood aan een 'offline first' - oplossing.

### 2.1.3 De Pridiktiv applicaties en technologiestack

Pridiktiv maakt gebruik van verschillende applicaties om de business doelstellingen te realiseren. In hoofdstuk 4 kan u een gedetailleerd bespreking terugvinden van de verschillende applicaties.

#### Client: Mobile applicatie

De huidige applicatie is een Angular[2] applicatie met Redux als state container. Voor lokale opslag wordt momenteel gebruik gemaakt van Mozilla's localForage[3] library. De applicatie is gebundeld als een Cordova applicatie.

#### Client: Backoffice applicatie

De backoffice applicatie is net als de mobiele applicatie een Angular applicatie maar dan gericht voor desktop gebruik. Synchronisatie en caching is voor deze applicatie niet relevant. Deze applicatie komt niet verder aan bod in dit onderzoek

[2]Wanneer de term 'Angular' wordt gebruik zonder versienummer, dan duidt dat op alle versies vanaf Angular 2. AngularJS is de verwijzing naar de 'oude' Angular versie

[3]localForage maakt gebruik van de verschillende DOM Storage methodes en voorziet een uniforme interface voor het opslaan van data in de browser.

#### Server side: Serverless architectuur

De backend van de businesscase maakt gebruik van een serverless architectuur in de Amazon Web Services Cloud en bestaat uit een verzameling van verschillende microservices die AWS[4] Lambda gebruiken. Om de data te persisteren wordt DynamoDB van AWS gebruikt.

## 2.2 Terminologie

In deze sectie komen de verschillende begrippen met betrekking tot de componenten van het onderzoek, het prototype en tools aan bod. De volledige lijst met begrippen en termen kan u terugvinden onder het hoofdstuk 'Glossarium'. Er is een minimum kennis in verband met software ontwikkeling vereist van de lezer om deze sectie volledig te begrijpen.

### 2.2.1 Huidige Web APIs voor lokale opslag

Er zijn momenteel 4 APIs (Mozilla, 2017b) voor lokale opslag die ondersteund worden door verschillende browsers. Deze APIs worden ondersteund (WHATWG, 2017) door de Web Hypertext Application Technology Working Group, aangegeven door WHATWG. De specificatie van de API wordt dan gestandardiseerd door het World Wide Web Consortium, aangegeven door W3C. Dit proces is belangrijk omdat de APIs dan door de populaire browsers zoals Chrome, Firefox en Safari worden geïntegreerd. Op die manier kunnen webapplicaties gebruik maken van de verschillende APIs. Het is belangrijk om deze APIs kort te overlopen omdat ze steeds gebruikt worden bij de verschillende caching technieken om data lokaal op te slaan.

### 2.2.2 Web Storage

localStorage en sessionStorageAPIs vallen onder Web Storage of DOM Storage (Camden, 2016). Wanneer de browser ondersteuning biedt voor Web Storage, zijn beide beschikbaar op het globale window. Web Storage wordt vaak vergeleken met cookies. Terwijl die vergelijkbaar zijn in functie, verschilt Web Storage in volgende aspecten:

- Opslag ruimte: Afhankelijk van browser maar meestal 5 MB beschikbare opslagruimte in vergelijking met maar 4 kb voor cookies.
- Client-side interface: Cookies kunnen zowel door server als client side worden gebruikt. Web storage valt exclusief onder client-side scripting.
- Twee verschillende storage omgevingen: localStorage en sessionStorage.
- Een eenvoudigere programmeerbare interface in vergelijking met cookies.

[4] AWS is de afkorting voor Amazon Web Services. Gemakkelijkheidshalve wordt in dit onderzoek AWS gebruikt om te verwijzen naar AWS

### localStorage

Data die in localStorage wordt opgeslagen is persistent tenzij die manueel wordt verwijderd door de gebruiker of applicatie. localStorage is dus een belangrijke kandidaat om data lokaal op te slaan in geval een applicatie offline moet kunnen worden gebruikt. Bij gevoelige data zoals medische data is het belangrijk om de data te verwijderen uit de localStorage wanneer die niet meer moet worden gecached.

### sessionStorage

Het grote verschil (Mozilla, 2017b) met localStorage is dat sessionStorage een vervalttijd heeft en de inhoud van de sessionStorage wordt verwijderd wanneer de sessie vervalt. Een sessie vervalt bijvoorbeeld hij het openen van een nieuw tabblad of browser venster. Refreshen van de browser heeft geen impact op de sessionStorage. sessionStorage laat toe om instances van een webapplicatie te runnen in verschillende browser windows, zonder dat er conflicten optreden.

### IndexedDB

IndexedDB (Leemans, 2013) is een Web API die gebruikt wordt het opslaan van relatief grote data structuren in browsers. Dankzij indexering is het mogelijk om sneller en performanter (Camden, 2016) te zoeken in de databank in vergelijking met localStorage en sessionStorage. Net zoals SQL-databanken is IndexedDB een transactional database system. Het grote verschil is echter het gebruik van JSON objecten in plaats van fixed columns tables om data op te slaan, vergelijkbaar met andere NoSQL databanken zoals MongoDB of CouchDB. Onder impuls van Mozilla wordt IndexedDB waarschijnlijk de alternatieve storage standaard voor het web in de nabije toekomst.

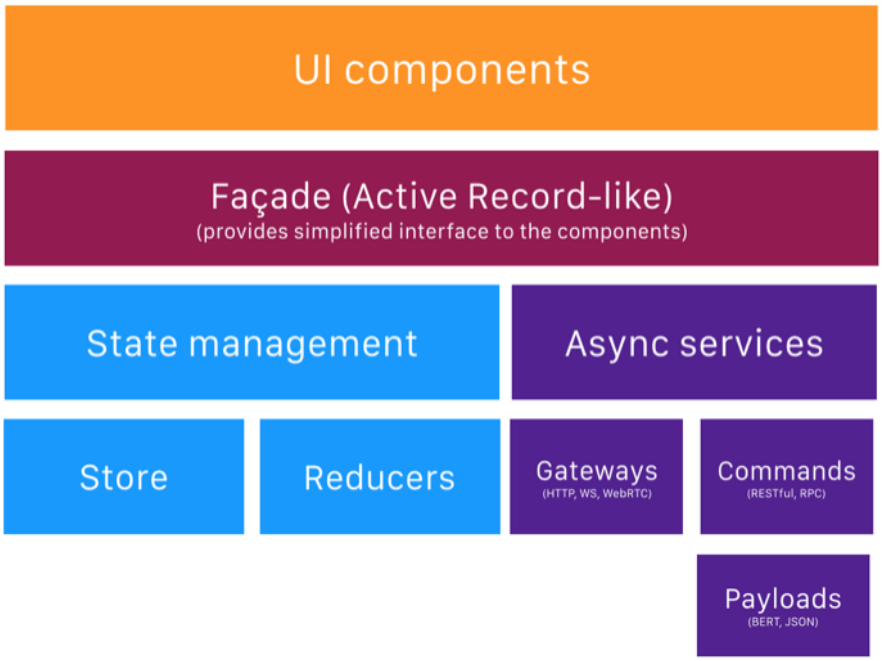
### Web SQL - deprecated

Net zoals bij IndexedDB biedt Web SQL toegang tot een databank waar data structuren kunnen worden opgeslagen. Met een SQL variant is het dan mogelijk om queries uit te voeren op de Web SQL database. Momenteel biedt enkel SQLite een database systeem voor Web SQL. W3C werkt momenteel niet meer verder aan de specificatie (W3C, 2017a) van Web SQL omdat er te weinig onafhankelijke implementaties zijn van Web SQL. Het gebruik van Web SQL wordt sterk afgeraden door het deprecated status[5] en wordt niet gebruikt in het onderzoek en de business case.

[5] 'Deprecated' binnen de context van softwareontwikkeling wil aangeven dat de functionaliteit niet meer verder wordt ondersteund of ontwikkeld

### 2.2.3 Scalable Angular Architecture

Figuur 2.1: Overzicht van een schaalbare web applicatie




Bij de start van de ontwikkeling van een Angular applicatie is het belangrijk om na te denken over de architectuur (Gechev, 2016) van de applicatie. Moderne SPA-technologieën zoals React en Angular maken gebruik van components. Een component is combinatie van HTML, JavaScript en optioneel CSS. Door alles in componenten onder te verdelen is het eenvoudiger om de applicatie te onderhouden omdat alle relevante data word gegroepeerd. Componenten zelf kunnen 'dumb' zijn als ze enkel data voorstellen of 'smart' wanneer ze data opvragen of verwerken.

De dataflow tussen componenten is ook belangrijk om een beheersbare (Billiet, 2016) applicatie te bouwen. Zo communiceren child components enkel maar met hun parent en interageert een parent met een model dat op zijn beurt communiceert met een 'store'[6] aan de hand van acties. Wanneer de state wordt gewijzigd in de store, dan wordt de volledige component tree opnieuw geëvalueerd. Een ander belangrijk aspect van een scalable SPA is het inperken van de communicatiemogelijkheden van smart components. Door het gebruik van een extra abstractie layer, zoals een model of sandbox, is het mogelijk om de communicatie te verwerken in de abstractielaag en op die manier een microservice te genereren die gemakkelijk kan worden refactored indien er aanpassingen moeten gebeuren.

[6]Zie 2.2.5 Redux store: een state container

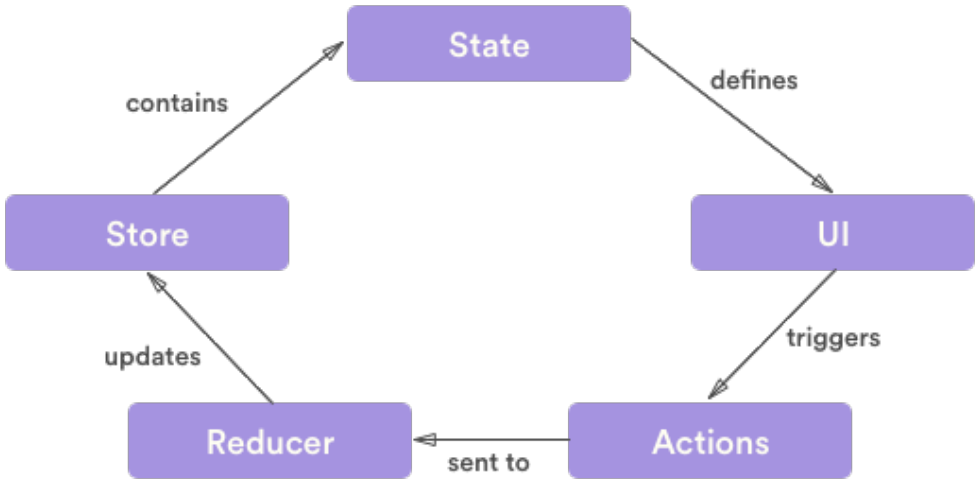
### 2.2.4 Redux store: een state container

Redux store is een container die de state van de applicatie bijhoudt waarbij performantie en consistentie centraal staan. De redux store is de 'single source of truth', verder benoemd als SSOT, voor de applicatie en moet ervoor zorgen dat de data van alle componenten consistent is met elkaar en er geen duplicate data is. Alle updates aan de data worden eerste weggeschreven naar de store en daarna gecachet. In het geval dat de gebruiker toegang heeft tot het Internet worden de data verstuurd naar de achterliggende systemen. Indien er geen of slechte internetverbinding is, krijgt de user de gecachte data te zien dankzij de SSOT. De store werkt met volgende (ngrx, 2017) principes :

- de state is een single immutable JSON data structure, alle aanpassingen in de state creeëren een nieuwe state die de oude state overschrijft
- trigger of dispatch events initialiseren acties in de reducers
- reducers verwerken acties en wijzigen de state door een nieuwe state te creeën. Een reducer is een idempotente[7] functie die een actie moet verwerken
- de state van de store kan asynchroon worden opgevraagd

In de applicatie van de business case wordt er gebruikt gemaakt van een Angular implementatie van Redux, de ngrx store. Net als Angular maakt ngrx gebruikt van RxJS. Zo is het mogelijk om RxJS componenten zoals Observables en Subjects te gebruiken bij het opvragen van de state.

Figuur 2.2: Voorbeeld van de flow bij een dispatch in Redux




[7]Een idempotente functie is een functie die een operatie uitvoert zonder neveneffecten als die meerdere keren met dezelfde input wordt opgeroepen

### 2.2.5 Reactive programming paradigm

Het reactive programming paradigm (ReactiveX, 2017) is gebouwd rond veranderende data flows, waarbij een applicatie kan reageren op nieuwe of andere input. Dankzij de ReactiveX library is het mogelijk om in verschillende programmeertalen componenten van reactive programming te gebruiken. De library laat toe om asynchroon en event-driven applicaties te ontwikkelen, die in real-time data kunnen manipuleren en tonen. Het breidt het Observer design pattern uit waarbij het mogelijk is om verschillende operators te 'chainen' met elkaar zonder rekening te houden met low level concerns zoals threading, synchronisatie, thread safety, concurrent data structures en blocking I/O. De RxJS library van ReactiveX is volledig geïntegreerd in Angular en ngrx store.

Met Promises (Mozilla, 2017a) was het reeds mogelijk om asynchroon te programmeren in JavaScript dus wat zijn de voordelen van RxJS ten opzicht van promises in JavaScript? Een Promise kan maar een enkel event afhandelen en kan niet worden gestopt. Een Observable kan worden beschouwd als een stream van events waarop verschillende manipulaties zoals map, reduce en filter kunnen worden op toegepast.

```
1 // een event wordt elke 2 seconden gegenereerd
2 const source = Rx.Observable.interval(2000);
3 // mappen van elke event naar 'Hello World' string
4 const example = source.mapTo('HELLO WORLD!');
5 // subscriben op operator om waarden te ontvangen
6 const subscribe = example.subscribe(val => console.log(val));
7 //output: 'HELLO WORLD!'...'HELLO WORLD!'...'HELLO WORLD!'...
```

Listing 2.1: Voorbeeld de mapTo operator in RxJS

### 2.2.6 Offline First

'Offline First' is een stroming (First, 2017) binnen web development waarbij offline gebruik als de basis wordt beschouwd van de applicatie. Net zoals bij 'Progressive Enhancement' wordt online functionaliteit beschouwt als een extra laag van features die de applicatie kan aanbieden. Het idee is gegroeid vanuit de teleurstelling dat 'always online' omwille van technische, geografische, financiële en praktische redenen nog niet haalbaar is voor de nabije toekomst.

### 2.2.7 Amazon Web Services

De applicaties en backend van de business case maken uitgebreid gebruik van Amazon Web Services (AWS). Volgende componenten komen aan bod in het onderzoek:

- Amazon SQS: Simpelweg Simple Queue Service is een message queue service die verschillende AWS services toelaat om data te plaatsen in een queue. SQS voorziet 2 varianten. De standard queue biedt de snelste en meer performante oplossing maar hanteert geen FIFO-principe. Een FIFO-queue, zoals de naam reeds aangeeft, hanteert wel het FIFO-principe en elke message in de queue wordt altijd maar 1 keer geleverd. Andere AWS services kunnen de queue pollen voor nieuwe data.
- Lambda: Met AWS Lambda is het mogelijk om code, functies en operaties uit te voeren in de cloud dus zonder servers zelf te beheren en vormt de basis voor de serverless architectuur. De input voor de functie kan worden geleverd door HTTP endpoints maar ook door andere AWS services en is een voorbeeld van een event-driven architectuur. De output kan dan bijvoorbeeld worden gepersisteerd in DynamoDB of teruggestuurd worden naar de client. De verschillende Lambda functies vormen de microservice architectuur in de backend van de businesscase.
- Amazon SNS: Amazon Simple Notification Service is een push notificatie service die toelaat om berichten te sturen naar mobiele toestellen, email adressen of andere AWS services. Met SNS is het onder andere mogelijk om polling van andere services te vermijden.
- DynamoDB: DynamoDB is een fully-managed[8] NoSQL database van AWS en wordt gebruikt door de business case voor de data opslag. DynamoDB voorziet geen automatische synchronisatie met clients.
- API Gateway: API Gateway is een fully managed service die toelaat om de toegang tot API's te beheren.

## 2.3 Stand van zaken

Wanneer een ontwikkelaar de eindgebruiker van zijn web -of mobiele applicatie wil voorstellen, dan denkt hij vaak aan een gebruiker met dezelfde eigenschappen als zichzelf (laatste smartphone, up-to-date besturingssysteem, snelle internet verbinding). De ontwikkelomgeving (snelle desktop/laptop met een betrouwbare en snelle internet verbinding) simuleert amper de omgeving van de eindgebruiker (Google, 2017). Bepaalde omgevingsfactoren zoals tunnels, trein en vliegtuig hebben een grote invloed op de betrouwbaarheid van de connectie. Het klassieke client - server model waarbij de client enkel maar als het ware een view is van de data die door de server worden bijgehouden, is achterhaald, want elke onderbreking in de internetconnectie zorgt ervoor dat de applicatie niet meer kan worden gebruikt.

[8] fully-managed houdt in dat dat het management en beheer van een service of databank wordt 'outsourced' naar de service provider. In het geval van DynamoDB moet de developer zich niet meer bezighouden met installatie, upgrades, provisioning, deployment, backups, restores en database availability.

Meeste mobiele- en webapplicaties hebben twee momenten waarbij er problemen kunnen optreden door de status van de connectie:

1. client stuurt request naar de server
2. server pusht request naar client

Afhankelijk van de business context van de applicatie, zijn er verschillende mogelijkheden:

- De gebruiker al dan niet op de hoogte brengen van veranderingen in de status van de connectie. Bijvoorbeeld: bij het versturen van een bericht kan de gebruiker op de hoogte worden gebracht dat het bericht pas wordt verstuurd wanneer de applicatie terug online is.
- Offline client-side creatie en manipulatie van data toelaten aan de hand van caching. Wanneer de applicatie terug online, deze data synchroniseren met de server.
- Uitschakelen of aanpassen van bepaalde features wanneer de applicatie offline is.

Daarnaast is het mogelijk dat de server data wil pushen naar de applicatie van de gebruiker omdat deze door een andere client werd gewijzigd. De applicatie moet de gebruiker dan waarschuwen dat er nieuwere, recentere data beschikbaar zijn en indien nodig, een conflict-resolution aanbieden. Momenteel zijn er al enkele frameworks en databank systemen die toelaten om (offline) automatisch data te synchroniseren van een web- of mobiele applicatie met de achterliggende databank. CloudBoost, CouchBase en Firebase bieden een all-in-one oplossing. Deze oplossing is echter niet compatibel met de bestaande backend. Daarom komen deze opties dan ook niet meer verder aan bod in het onderzoek.

## 2.4 Probleemstelling en Onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een algoritme of architectuur die compatibel is met de huidige applicaties en technologie stack. Hoe wordt conflict-resolution opgelost en moet de gebruiker daar zelf een keuze maken of kan de applicatie of achterliggende systemen zelf alle conflicten oplossen? Het is de intentie van het onderzoek om tot een betrouwbare oplossing te komen voor het probleem van de business case. Zoals reeds vermeld moet in het geval van de business case, de applicatie zonder onderbreking gemakkelijk kunnen overstappen van een offline status naar een online status en omgekeerd, zonder dat er daarbij belangrijke data verloren gaat. De applicatie werkt met vertrouwelijke medische data waardoor het verlies van data onaanvaardbaar.

## 2.5 Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In het volgende hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht die werd gehanteerd voor dit onderzoek. De applicatie van de business case, backend infrastructuur voor dit onderzoek worden toegelicht in hoofdstuk 4. Het onderzoek start in hoofdstuk 5 met een opsomming van verschillende synchronisatie mogelijkheden. In hoofdstuk 6 worden de oplossingen op de verschillende problemen bij synchronisatie overlopen. Tenslotte kan u in hoofdstuk 7 de conclusie en een oplossing vinden. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein. Indien bepaalde begrippen onduidelijk zijn, vindt u een beknopte uitleg in het hoofdstuk 1.

# 3. Methodologie

In dit hoofdstuk wordt de modus operandi overlopen die gehanteerd werd tijdens het onderzoek.

## 3.1 Research

Het onderzoek begon met research naar de gebruikte technologieën in de business case en bestaande synchronisatie mogelijkheden. Bij het uitvoeren van deze fase, viel het op dat er weinig literatuur over het onderwerp te vinden is. Hierdoor bestaat het overgrote deel van de bronvermeldingen en referenties uit hyperlinks naar documentatie, blogs en artikelen van experts.

### 3.1.1 Research naar gebruikte technologieën in de business case

Tijdens deze fase lag de focus van het onderzoek om de verschillende technologieën die gebruikt worden in de business case in kaart brengen. Op basis van die resultaten zijn de grenzen bepaald waar binnen dit onderzoek wordt uitgevoerd.

### 3.1.2 Beperkingen in de business case

De business case van Pridiktiv laat wijzigingen aan de bestaande backend toe. Een belangrijke voorwaarde echter is het behouden van DynamoDB als database maar die biedt geen synchronisatie aan. Een andere belangrijke beperking is de eis dat er een abstractielaag[1] is tussen de database en de client.

### 3.1.3 Research naar bestaande synchronisatie methodes

Het tweede deel van de researchfase bestond uit onderzoek naar bestaande synchronisatie mogelijkheden. Op basis van het resultaat van het eerste deel en de beperkingen van de technologieën van de business case, werd er een selectie gemaakt met de geschikte technologieën. Er zijn reeds oplossingen voor synchronisatie van offline data maar die hebben bepaalde implementatievoorwaarden die niet voldoen aan de beperkingen van de business case. Deze worden toegelicht in hoofdstuk 4 'Opstelling'.

### 3.1.4 Bespreken research met expert

Na het uitvoeren van de researchfase werden de voorlopige conclusies van de researchfase getoetst bij de expert en co-promoter Sam Verschueren. Bij deze bespreking werden verschillende onderzoekspistes uitgestippeld voor het ontwikkelen van een oplossing.

## 3.2 Ontwerpen en prototyping van architectuur voor synchronisatie

Met behulp van een sandbox[2] AWS account was het mogelijk om een architectuur te ontwerpen voor de oplossing. Er werden ook prototype lambda's ontwikkeld voor het testen van de libraries die gebruikt worden bij de synchronisatie.

[1] Bij complexe use cases is het niet wenselijk om een client rechtstreeks te laten communiceren met de database. Client en databank zijn te sterk aan elkaar gekoppeld waardoor database refactoring zeer moeilijk wordt.

[2] Een sandbox is een omgeving waar zonder neveneffecten bepaalde prototypes of tests kunnen worden uitgevoerd als 'proof of concept'. Deze dienen dan als basis voor een concrete implementatie

## 3.3 Toepassen van synchronisatie oplossing op business case

Terwijl synchronisatie voornamelijk afspeelt server side heeft de client binnen 'Offline First' ook een rol. De grootste uitdagingen in de client applicatie zijn de caching en de pre-caching van data in het geval de applicatie plots van status[3] zou veranderen. Caching is niet de focus van dit onderzoek maar speelt een niet-onbelangrijke rol bij de transitie van online naar offline en omgekeerd. In het hoofdstuk 6 'Onderzoek' wordt verder in detail ingegaan op de caching in de client en de synchronisatie op server. De implementatie op basis van de resultaten van het onderzoek vond plaatst tijdens de stage periode bij Pridiktiv. De oplossing is opgenomen in de pilootversie van de Pridiktiv applicatie en is momenteel operationeel in productie.

## 3.4 Conclusie

Met behulp van de literatuurstudie, research van documentatie van verschillende technologieën en prototyping is er een oplossing aageboden voor synchronisatie en caching. In het laatste onderdeel van het onderzoek wordt er op basis van de ervaringen en bevindingen van het onderzoek een synthese gevormd.

[3] Van offline naar online en omgekeerd

# 4. Opstelling

In dit hoofdstuk wordt er dieper ingegaan op de verschillende onderdelen van het Pridiktiv platform[1]. Met behulp van component diagrammen[2] worden de architectuur en interactie visueel voorgesteld.

## 4.1 Client

### 4.1.1 Client: Backoffice applicatie

De backoffice is een Angular applicatie en bestaat functioneel uit twee grote delen. Er is een zorgplanner en takenplanner voor de hoofdverplegers/hoofdverpleegsters waar zij het takenpakket voor een patient kunnen samenstellen. Voor het management is er een dashboard die inzicht biedt in de operationele werking van het woonzorgcentrum. De applicatie is afhankelijk van een internetconnectie om te kunnen functioneren. Omdat offline functionaliteit voor deze applicatie niet relevant is, komt het in het onderzoek niet verder aan bod.

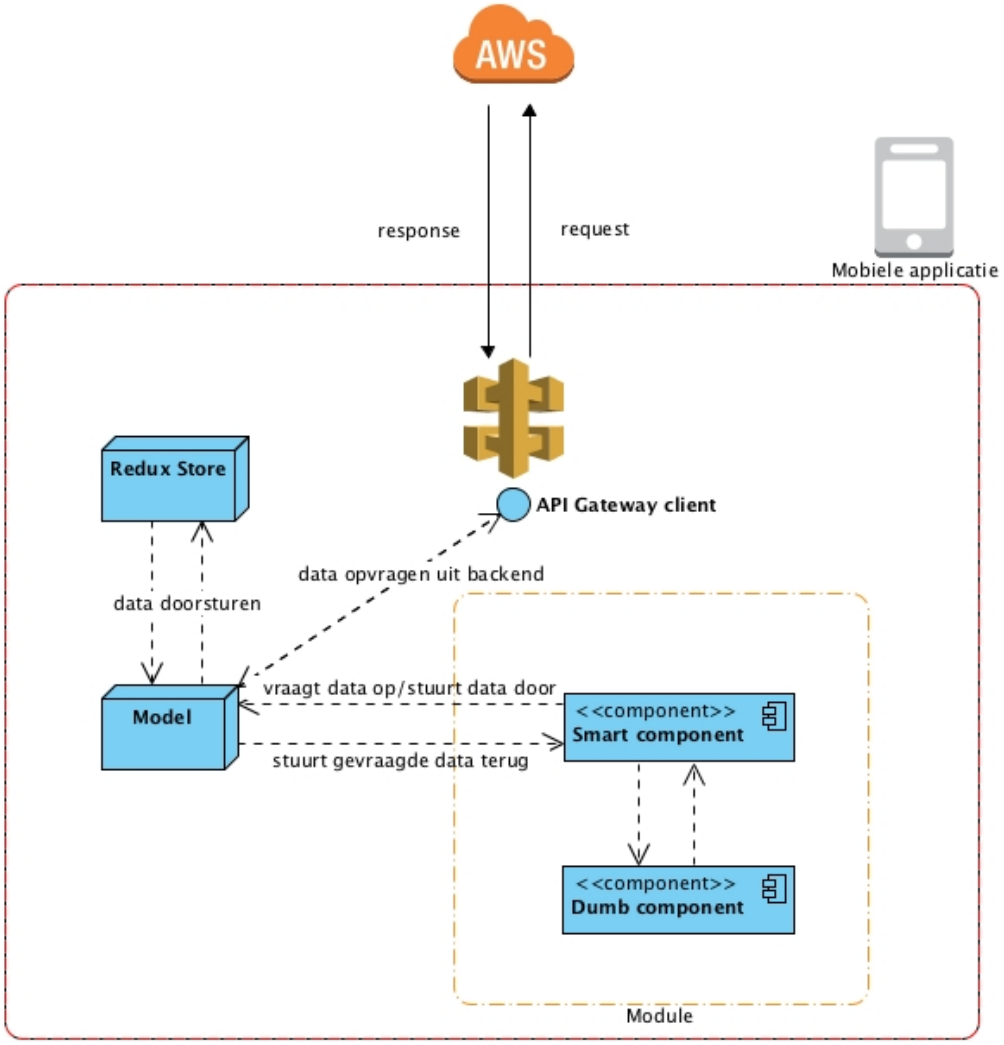
[1] platform of 'solution stack': Een set van componenten en software subsystemen die een geheel vormen waarmee de business doelstellingen worden bereikt

[2] Een component diagram is een UML diagram die visueel voorstelt hoe componenten samenwerken om een software systeem te vormen

### 4.1.2 Client: Mobiele applicatie

De mobiele applicatie is net als de backoffice een Angular applicatie maar gebundeld als een Cordova applicatie. De applicatie wordt gebruikt door verplegers/verpleegsters en zorgkundigen in woonzorgcentra voor het registreren van verschillende handelingen.

Figuur 4.1: Flow van de mobiele applicatie




De applicatie maakt gebruik van verschillende design principes(Billiet, 2016)(Gechev, 2016) die ervoor zorgen dat het een schaalbare Angular applicatie is. De applicatie bestaat uit verschillende Angular modules[3] die elke een feature voorstellen in de applicatie.

[3]Een Angular module is een verzameling van componenten en services. Modules organiseren een applicatie in coherente blokken van functionaliteit

Modules die data nodig hebben gebruiken een model[4] voor het ophalen van de data uit de redux store. Indien de data niet in de store aanwezig is wordt die met behulp van de AWS API Gateway client opgevraagd aan de backend. De opgevraagde data wordt meteen in de store gestopt om het SSOT-principe te respecteren. Een smart component kan dan via zijn model data uit de redux store opvragen en stuurt die dan door naar een dumb component of meerdere dumb components. Wanneer er data wordt gewijzigd of gecreeërd in een dumb component, stuurt het component de data terug naar zijn parent smart component. Via het model van de smart component wordt er in de store een nieuwe state gecreeërd op basis van de nieuwe of aangepaste data.

Er wordt momenteel geen rekening gehouden met het cachen en precachen van data indien de applicatie plots offline is. Dit komt wel aan bod in het hoofdstuk 6 'Onderzoek'

## 4.2 Server

De backend is opgebouwd volgens het 'serverless'(Richardson, 2015) principe. Hierbij vormen AWS Lambda's de ruggengraat van de backend infrastructuur. Er wordt gebruik gemaakt van verschillende microservices die elk een beperkte maar specifieke verantwoordelijkheid hebben over een bepaalde functionaliteit. Voor de persistentie van de data wordt per data 'type'[5] een DynamoDB tabel gebruikt. Met behulp van SNS kunnen Lambda's of andere AWS services op de hoogte worden gebracht wanneer er een neveneffect moet optreden bij het afhandelen van een request. De API Gateway is de toeganspoort tot de backend en is verantwoordelijk voor het delegeren van de binnenkomende requests. In de business case wordt er gebruik gemaakt van een proxy[6] lambda die de requests mapped naar de correcte lambda. Die voert dan de noodzakelijke stappen uit voor de request te verwerken.

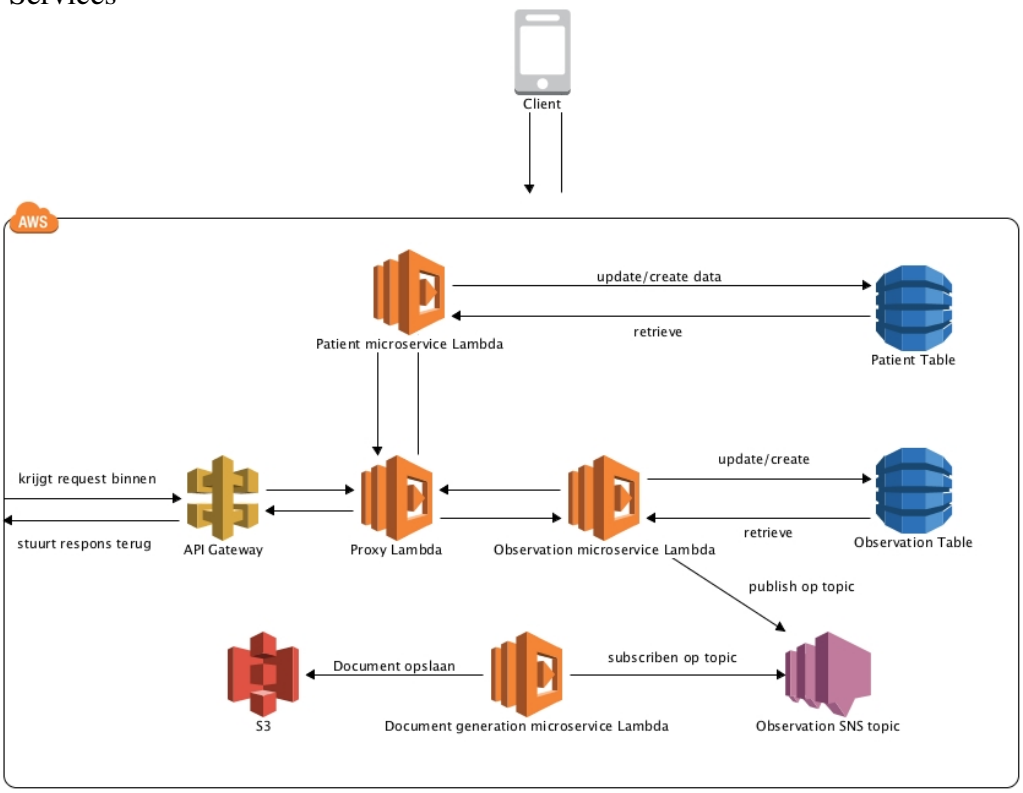
Figuur 4.2 is een voorbeeld van verschillende lambda's waarbij manipulaties worden uitgevoerd op patient -en observatiedata. De API Gateway stuurt een request naar de proxy lambda. Die triggert op zijn beurt de relevante lambda. Wanneer er een aanpassing gebeurt in de observatie data, plaatst de observatie microservice lambda een bericht op een SNS topic. Dit triggert dan de documentatie lambda die subscribed is op het SNS topic. Lambda en SNS werken dus perfect in tandem in het kader van een event-driven architectuur.

[4] 'model' verwijst in deze context naar een 'service' in Angular terminologie

[5] Bijvoorbeeld patiënten en observaties zijn 2 verschillende datatypes

[6] Wanneer een lambda met proxy integration wordt gebruikt, hanteert de API Gateway een greedy 'catch-all' principe. Hierbij worden alle requests opgevangen en doorgestuurd naar de proxy lambda

Figuur 4.2: Voorbeeld van een serverless architectuur opgezet met verschillende Amazon Web Services



# 5. Synchronisatie patterns

In dit hoofdstuk worden enkele synchronisatie methodes en technieken besproken die data kan synchroniseren met de databank. Indien van toepassing, wordt telkens een concrete situatie van de use case van Pridiktiv gebruikt ter illustratie. Op het einde van dit hoofdstuk worden ook nog andere technieken besproken die niet meteen kunnen worden onderverdeeld onder een specifiek pattern.

### 5.0.1 Conclusie research

Op basis van die research en de beperkingen van de business case was het immers eenvoudiger om te bepalen welke technologieën al dan niet in aanmerking komen voor het onderzoek. Synchronisatie technologieën zoals Firebase, CouchBase en Azure Mobile Apps laten toe dat een applicatie offline functioneert met conflict resolution. Dit proces verloopt nagenoeg automatisch verloopt aan de hand van synchronisatie policies of door tussenkomst van de gebruiker. Door de manier[1] hoe bestaande synchronisatie oplossingen zoals Firebase en Azure werken, is het niet mogelijk de bestaande oplossingen toe te passen op de business case.

CouchDB en PouchDB zijn twee andere technologieën waarbij er geen 'all-in-one' oplossing wordt aangeboden. Helaas is PouchDB enkel compatibel met CouchDB en derivaten. Waardoor het niet geschikt is voor deze business case om een oplossing te bieden naar synchronisatie.

Wanneer een synchronisatie framework wordt gebruikt, dan gebruikt de client applicatie een specifieke library die de data lokaal beheert indien de gebruiker offline gaat of de

[1] Met databank replicatie, waarbij rechtstreeks op de database wordt gewerkt

applicatie de data wil cachen. Wanneer de gebruiker terug online gaat of de applicatie de gecachte data wil synchroniseren, dan gebeurt de synchronisatie en conflict resolution volledig automatisch. Voorwaarden om dit te kunnen realiseren is de implementatie van een specifieke library om de lokale data te beheren en het gebruik van de correcte backend frameworks of databases. Door de beperkingen van de business case 3.1.2 was er ook nood aan onderzoek naar synchronisatie patterns. Deze patterns zijn vaak geïntegreerd in de vermelde synchronisatie technologieën.

## 5.1 Read-Only Data

Dit data synchronisatie patroon wordt gebruikt wanneer de end user enkel maar data moet kunnen opvragen terwijl de applicatie offline is en die data niet hoeft te manipuleren of de manipulaties op die data niet belangrijk genoeg zijn om te persisteren. Bij Read-Only Data is de richting van het dataverkeer unidirectioneel, van server naar end-user applicatie. Het Read-Only pattern hanteert volgende logica:

1. de end-user (client) vraagt de data op van de server. De server is de SSOT en houdt alle data bij. Die data kan wijzigen wanneer de end-user bijvoorbeeld offline is
2. server retourneert de data. De opgevraagde data wordt lokaal opgeslagen
3. alle manipulaties op de data worden geblokkeerd en worden nooit doorgegeven aan de server. De client kan dus enkel maar GET HTTP requests sturen voor de data op te vragen
4. bij synchronisatie wordt de oude data lokaal verwijderd en vervangen door de nieuwe data
5. de applicatie controleert op regelmatige tijdstippen de data

Een voorbeeld van het Read-Only pattern van in de use case van Pridiktiv is het opvragen van de patiëntenlijst. Die lijst kan worden gewijzigd door de hoofdverpleger in het dashboard maar niet in de applicatie zelf. Wanneer de applicatie offline is, kan eenvoudig worden verder gewerkt met de applicatie. Indien er een nieuwe patiënt wordt toegevoegd, dan is die vanaf de volgende synchronisatie zichtbaar.

## 5.2 Read-Only Data Optimized

Het Read-Only Data Optimized pattern is identiek aan het Read-Only Data pattern maar met 1 verschil. Bij de synchronisatie worden enkel de data opgevraagd die gewijzigd zijn en niet alle data. Dit kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd. Er kan een timestamp worden bijgehouden van de laatste wijziging of een version number die incrementeert bij elke wijziging. Op basis van de vergelijking tussen de bestaande data en de data in de databank, kan de applicatie al dan niet beslissen om de lokale data te updaten. De richting van het dataverkeer is bidirectioneel, wat ook verschilt met de standaard implementatie van het Read-Only pattern. Omdat de server eerst moet worden gevraagd of er al dan niet data zijn gewijzigd, moet de applicatie ook kunnen communieren

met de server.

## 5.3 Read/Write Data Last Write Wins

In dit pattern gaat de server er van uit dat writes altijd in de juiste volgorde worden uitgevoerd en de laatste write die naar de databank wordt gestuurd ook de werkelijke laatste wijziging is van de client applicatie. Er wordt geen conflict resolution uitgevoerd. Het pattern blinkt uit wanneer er enkel wordt toegevoegd en de data nooit wordt gemanipuleerd. In de use case van Pridiktiv kan dit worden toegepast bij bijvoorbeeld het toevoegen van notities bij een patient. De notities van een patient worden niet gewijzigd waardoor er geen data kunnen worden overschreven.

## 5.4 Read/Write with Conflict Detection

Het Read/Write with Conflict Detection pattern is het meest complexe waarbij verschillende end-users dezelfde data wijzigen op het moment dat de applicatie offline is. Bij dit pattern wordt er gesproken van multi-way synchronisatie waarbij een applicatie zowel de data van de server kan updaten en dat de server op zijn beurt alle andere apparaten moet updaten. Een mogelijke flow van het proces zou er als volgt kunnen uitzien:

1. de server database houdt alle data bij
2. de applicatie houdt lokaal een subset van de data bij die kan worden gewijzigd
3. bij synchronisatie worden de aangepaste data die lokaal wordt opgeslagen naar de server en omgekeerd
4. in de server worden de data aangepast en alle conflicting changes worden geregistreerd voor verdere behandeling
5. Vraagt de gebruiker voor conflict resolution of de applicatie kan zelf het conflict oplossen en de data aanpassen

Een voorbeeld uit de use case van Pridiktiv die gebruik zou kunnen maken van het Read/Write with Conflict Resolution pattern is de opvolging bij wondzorg. Wanneer een end-user een bepaalde wijziging aanbrengt in het dossier van de patient, is het belangrijk dat die data niet verloren gaan indien een andere end-user ook het wondzorg dossier van een patient aanpast. Het is belangrijk om conflict resolution 'achter de schermen' op te lossen om op die manier ervoor te zorgen dat er geen aanpassingen verloren gaan.

# 6. Onderzoek

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de verschillende methodes en de real-world toepassing van die methodes met de testopstelling en de businesscase. De invalshoek voor dit onderzoek is steeds een statusverandering van offline naar online.Volgende methodes komen aan bod:

- Read-only Optimised
- Last/First Write Wins
- Conflict resolution

## 6.1 Online/Offline status registratie

Voor bovenstaande synchronisatie methodes worden besproken is het belangrijk om aan te geven welke methode er wordt gebruikt zodat de applicatie kan waarnemen dat die al dan niet online is. Er zijn 2 mogelijkheden:

1. DOM API's aanspreken vanuit JavaScript: helaas is er geen consistente crossbrowser support op het controleren van de status van de verbinding zonder gebruik te maken van van requests naar externe data. Bijvoorbeeld luisteren naar events van het document.window object om online en offline status te controleren werkt niet op alle browsers. Een andere optie waarbij de status van de verbinding wordt opgevraagd met window.navigator.onLine werkt ook niet consistent in alle browsers.
2. Een request uitvoeren naar een externe bron: als de applicatie een request uitvoert naar een externe bron en de HTTP code controleert van de respons, dan kan de applicatie gemakkelijk afleiden wat de status van de verbinding is. Deze methode garandeert dat de applicatie correct kan vaststellen wanneer de status van de verbinding

verandert. Deze methode ook gebruikt in libraries zoals Offline.js.

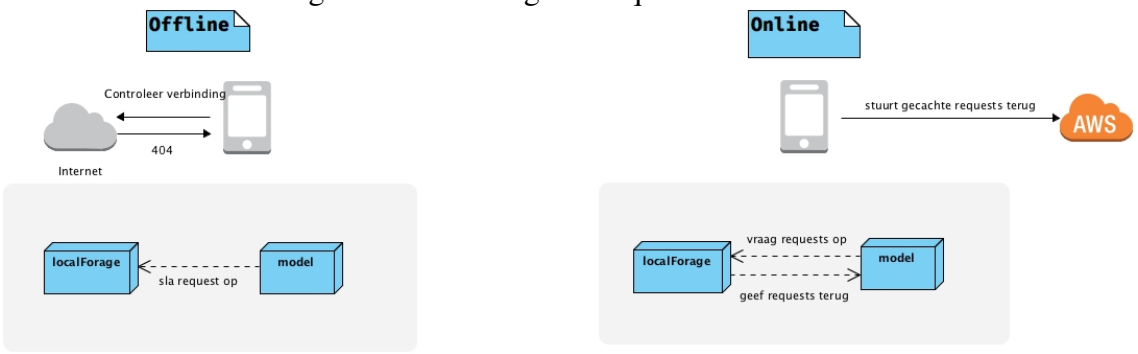
```
1     // FIREFOX met jQuery
2     $(window).bind("online", applicationBackOnline);
3     $(window).bind("offline", applicationOffline);
4
5     //IE met vendor specifieke objecten
6     window.onload = function() {
7         document.body.ononline = ConnectionEvent;
8         document.body.onoffline = ConnectionEvent;
9     }
10
11    // met native window.navigator
12    if (navigator.onLine) {
13    // Online
14     } else {
15    // Offline
16  }
```

Listing 6.1: DOM API's voor controleren offline en online status

### 6.1.1 Gecachte data doorsturen naar de server

Voor het onderzoek werd geopteerd op gebruik te maken van de tweede methode. Wanneer de applicatie registreert dat er geen verbinding meer is, worden alle requests gecached als afzonderlijke objecten. Wanneer de applicatie dan terug online is, wordt er in een request naar de server alle gecachte data doorgestuurd. De API Gateway geeft het object door aan een gateway lambda die de objecten op een queue plaatst. Een andere lambda leest alle boodschappen uit de queue en stuurt elke request terug naar de gateway lambda. De API Gateway wijst de correcte lambda aan die verantwoordelijk is voor de verwerking van de oorspronkelijke request. Bij requests die een UPDATE uitvoeren op een object dat aangemaakt werd (CREATE) tijdens de offline status, worden allemaal gebundeld in een object. Op die manier wordt de volgorde gegarandeerd voor het verwerken van de verschillende requests. Wanneer er dan synchronisatieproblemen optreden, moeten die in de lambda's worden opgevangen die de individuele request moeten verwerken.

Figuur 6.1: Caching van requests in de client



## 6.2 Data caching uit backend

Bij een applicatie die zowel online als offline moet werken, is het belangrijk dat er data wordt gepreload in de applicatie. Zo kan de gebruiker blijven verder werken indien de applicatie plots offline zou zijn. Het belangrijkste aandachtspunt is hierbij de schaalbaarheid van de oplossing. In de business case van Pridiktiv worden verschillende requests naar de server uitgevoerd naar de server om de data op te vragen. Wanneer de functionaliteit en data capaciteit van de applicatie toeneemt kan het aantal requests kan wel dramatisch stijgen. Een mogelijke oplossing voor dat probleem kan een webworker zijn. Door het single-threaded karakter van JavaScript kan er een webworker worden gebruikt voor het parallel bevragen van de server.

De connectie status van de de applicatie wordt bewaard als state in de ngrx store. Die kan worden bevraagd bij het uitvoeren wanneer er data uit de store moet worden geladen. Zo weet de applicatie of het al dan niet mogelijk is om een request naar de server uit te voeren. De ngrx store is de SSOT en bevat die de gecachte data in-memory. Wanneer de store wordt bevraagd kan de gecachte data uit de store worden geladen. Dit laat de gebruikers toe om zonder onderbreking de applicatie te gebruiken wanneer er verandering in de verbindingsstatus is.

### 6.2.1 Beperkingen door single-threaded omgeving

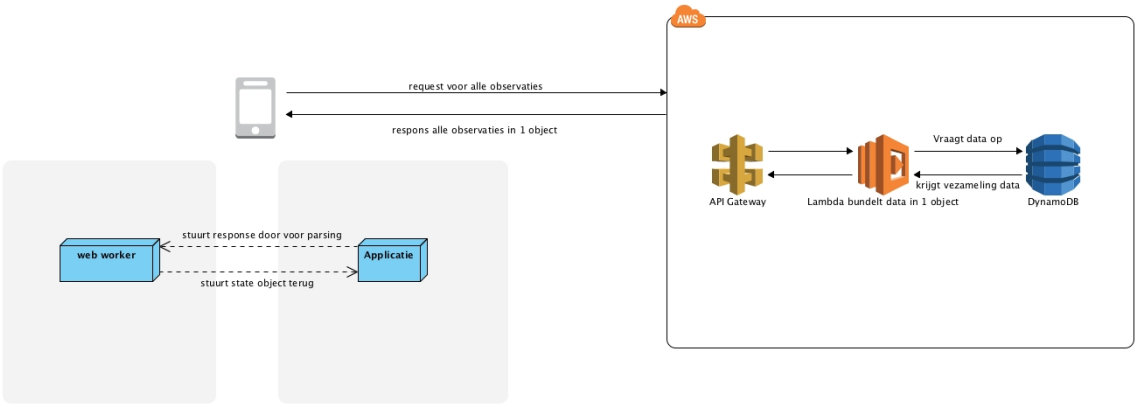
JavaScript is een single-threaded omgeving waardoor meerdere scripts niet simultaan kunnen worden uitgevoerd. Dit vormt problemen wanneer een webapplicatie UI events, queries, een groot volume API data en tegelijk de DOM aanpassingen moet verwerken. Met technieken zoals setTimeout() en setInterval() is het mogelijk om concurrency te simuleren maar dit maakt de applicatie meteen een stuk complexer. Dankzij de HTML5 specificatie is het mogelijk om Web Workers te gebruiken. Deze laten toe om scripts in de achtergrond uit te voeren. Hierdoor is het mogelijk om complexe berekeningen concurrent uit te voeren zonder dat dit een performantie impact op de applicatie heeft.

### 6.2.2 Toepassing

In het onderzoek zijn drie verschillende mogelijkheden voor caching onderzocht. De eerste methode vraagt serieel alle data op van de server. Dit vormt geen probleem indien de data beperkt is, maar eenmaal het volume van de data stijgt, dan moeten er steeds meer requests wordt uitgevoerd naar de server. Dit heeft als nadeel dat de main thread geblocked wordt waardoor er geen UI kan worden gerenderd op het toestel. Dit is dus geen ideaal scenario. Bij de andere 2 methodes wordt er gebruik gemaakt van een webworker. Deze webworker laat doe om parallel met de applicatie bepaalde acties uit te voeren. Met behulp van de webworker is het dan mogelijk om de caching in de achtergrond uit te voeren. Met deze web workers kunnen dan volgende operaties worden uitgevoerd:

1. data ophalen van de server
2. omzetten van opgehaalde data naar state object voor ngrx

Figuur 6.2: Web worker die request verwerkt




Om het aantal requests drastisch te verminderen is het ook mogelijk om bepaalde data te bundelen. Zo kunnen alle observaties voor patienten worden gebundeld worden in 1 object en de webworker vormt die response dan om naar een geldig state object. Zo worden intensieve berekeningen in de applicatie vermeden. Een derde mogelijkheid is het opzetten van een applicatie state in de backend en dit dan door te sturen. Op die manier moet enkel het state object worden toegevoegd aan de store wanneer het is opgevraagd van de server. een nadeel van deze methode is de state van de client die nu sterk gekoppeld is aan de backend. Grote voordeel is dat de backend nu verantwoordelijk is voor alle intensieve operaties en dat de client applicatie enkel maar zijn state moet injecteren in de store.

#### Toepassing op de business case

In de business case wordt de request serieel bevraagd van de server. Nadat de patiëntenlijst is opgevraagd, worden voor alle patiënten de relevante data opgevraagd. In de piloot versie waren dat ongeveer 75 personen die elk taken, notities, observaties, medische parameters en wondzorgdossiers kunnen bevatten. Dit leidt tot een 500 requests die in een zeer korte periode worden uitgevoerd. Het gebruik van web workers (W3C, 2017b) gecombineerd met een gebundelde data zou het aantal requests sterk kunnen verminderen. In de business case is er ook sprake van afbeeldingen die moeten worden gesynchroniseerd met de applicatie maar het cachen van BLOBs valt buiten de scope van dit onderzoek.

## 6.3 Data synchronisatie: planning bij development

Wanneer een synchronisatieoplossing moet worden ontwikkeld voor een applicatie, is het belangrijk om alle use cases in kaart te brengen waarbij er rekening moet worden gehouden met synchronisatie. Dit zorgt ervoor dat er geen functionaliteit over het hoofd wordt gezien bij het ontwikkelen van de synchronisatieoplossing. Ter illustratie wordt in de onderstaande voorbeeld de business case van Pridiktiv ontleed.

| Functionaliteit | Synchronisatie |
|---|---|
| Taken | First-Write Wins of conflict resolution |
| Observaties | geen conflict mogelijk |
| Medische data | geen conflict mogelijk |
| Wondzorg | First-Write Wins of conflict resolution |
| Notities | Geen conflict mogelijk |

De onderverdeling is het uitgangspunt voor de volgende stap namelijk het bepalen van de verschillende synchronisatie mogelijkheden. Zo kan bijvoorbeeld worden bepaald dat de gebruiker bij een conflict zelf een beslissing moet nemen. Of indien er een conflict optreedt bij een synchronisatie van bepaalde data, dat er automatisch voor Last/First Write Wins wordt gekozen. In het geval waarbij er conflict resolution moet gebeuren door de gebruiker, kunnen kan worden bepaald welke keuzes de gebruiker krijgen en welke keuzes de server zelf kan maken. Bovenstaande overzicht vormt dan als het ware de basis voor de ontwikkeling van de synchronisatie. Een ander voorbeeld is het deactiveren van bepaalde functionaliteit bij wanneer de applicatie offline is. Hierdoor kunnen potentieel complexe synchronisatieproblemen worden vermeden. Dit heeft echter als nadeel dat de applicatie niet meer de volledige functionaliteit kan aanbieden wanneer de verbinding is verbroken. Het al dan niet uitschakelen van bepaalde functionaliteit bij offline gebruik is sterk afhankelijk van de business case

## 6.4 Read-Only Optimised

De belangrijkste insteek voor deze methode is om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van de bandbreedte van de client of processor tijd serverside. Read-Only Optimised is dan ook eerder een optimalisatietechniek dan een synchronisatiemethode. Deze techniek laat toe om enkel nieuwe data binnen te halen waardoor data die de applicatie reeds bezit niet opnieuw worden opgevraagd. De complexiteit van deze methode stijgt evenredig met het aantal parameters dat in de data kan worden aangepast. Deze methode wordt vooral gebruikt bij het cachen van data voor offline gebruik.

### 6.4.1 Overzicht: Client

Bij Read-Only Optimised staat de synchronisatie van de client centraal. Tijdens de periode dat de client offline was, is het mogelijk dat er nieuwe data zijn aangemaakt. Om deze data te synchroniseren kan de client alle data opnieuw opvragen maar deze manier heeft enkele nadelen. Indien de data klein is zoals enkel tekst, dan is Read-Only Optimised triviaal en kunnen alle data opnieuw worden opgevraagd. Wanneer er echter grotere data moet worden ingeladen zoals afbeeldingen, dan kan Read-Only Optimised heel wat bandbreedte uitsparen. Dankzij de ngrx store is het ook gemakkelijk om manipulaties uit te voeren op de data, waardoor er eenvoudig objecten kunnen worden toegevoegd aan de data in de store. Belangrijke voorwaarde voor het uitvoeren van deze actie is het bijhouden in de client van de timestamp van de laatste update indien de data aanwezig zijn. Indien er geen timestamp aanwezig is, dan weet de client dat alle data moeten worden opgevraagd.

### 6.4.2 Overzicht: Server

De server houdt rekening met de verschillende timestamps om te bepalen welke data er moet worden geretourneerd.

### 6.4.3 Opmerkingen

Ondanks de perceptie dat dit een eenvoudige methode is om te implementeren, zijn er enkele opmerkingen zij deze methode:

1. In bovenstaand scenario wordt er enkel maar uitgegaan van nieuwe data, dus CREATE operaties. Indien de methode ook voor UPDATE moet werken is het in bepaalde gevallen noodzakelijk om ook de databank structuur aan te passen.
2. Bij klassieke SQL databanken kan gemakkelijk worden gefilterd op bepaalde velden zoals een 'updated veld' binnen een tabel. Bij DynamoDB is dit moeilijker als de waarde van de query geen deel uitmaakt van de sort -of partition key. In dat geval moet er dan gebruik worden gemaakt van een extra secondary index niet telkens alle partition key moet worden overlopen telkens wanneer er een GET request is.
3. Het is bij kleine data vaak eenvoudiger om steeds alle data op te vragen en geen gebruik te maken van de Read-Only Optimised methode. De complexiteit die Read-Only Optimised toevoegt bij eenvoudige scenario's maakt deze methode soms overbodig.

### 6.4.4 Toepassing

Met behulp van twee timestamps wordt er bijgehouden wanneer de laatste GET is uitgevoerd en wanneer de laatste aanpassing in een tabel heeft plaatsgevonden. Op die manier kan de backend bepalen welke informatie er moet worden geretourneerd. Wanneer er maar een beperkt volume data wordt geretourneerd dan zorgt de Read-Only Optimised methode nodeloos voor extra complexiteit. Het is daarom enkel aangeraden om enkel Read-Only Optimised te gebruiken indien er met grotere datasets wordt gewerkt.

#### Toepassing op de business case

In de backoffice en mobiele applicatie van Pridiktiv wordt er momenteel geen gebruikt gemaakt van Read-Only Optimised. Het Read-Only Optimised patroon zou in de business case van Pridiktiv eerder geschikt zijn wanneer de state server side wordt opgebouwd. Als de state voor de caching serverside wordt opgebouwd, dan zou men gebruik kunnen maken van Read-Only Optimised. Door de opgebouwde state te persisteren en de tegelijk de timestamps van de laatste change binnen een bepaalde categorie bij te houden in een 'changes' tabel zou het aantal queries dat nodig is om de state op te bouwen sterk kunnen verminderen.

## 6.5 Last/First Write Wins

Bij Last/First Write Wins gaat er onherroepelijk informatie verloren. Afhankelijk van de gekozen conflict resolution methode is het wordt de eerste of laatste write bijgehouden. Dit is de eenvoudigste manier van conflict resolution maar men moet bereidt zijn om een compromis te sluiten en informatie op te offeren in ruil voor minder complexiteit bij het synchroniseren. Wanneer heel snel naar een offline/online synchronisatiemethode moet worden gezocht, biedt die de gemakkelijkste oplossing.

### 6.5.1 Overzicht: Client

Bij deze methode is de impact van de client miniem want de client weet niet dat er een synchronisatieprobleem zal optreden wanneer die data doorstuurt naar de server.

### 6.5.2 Overzicht: Server

Deze methode vind plaats wanneer verschillende clients een verandering aanbrengen bij hetzelfde bestaande object. Hierdoor krijgt de databank verschillende waarden binnen en moet dat verplicht de databank er toe om te reageren. Afhankelijk van de methode die gekozen zijn er twee scenario's mogelijk bij deze synchronisatiemethode.

1. First Write Wins. Hier wordt enkel de eerste write van een object of row bijgehouden. Indien hetzelfde object opnieuw wordt aangepast dan wordt er een exceptie geworpen. Dit is enkel maar mogelijk in use cases waarbij een aanpassing in een object finaal is. Een voorbeeld uit de use case is bijvoorbeeld het volbrengen van een taak. Wanneer een taak is volbracht, is het niet meer mogelijk om die aan te passen. Met behulp van een completed flag kan de state van de taak worden bijgehouden. Wanneer de aanpassingen in een object niet finaal zijn, is een last Write wins een betere methode.
2. Last Write Wins. Bij Last Write Wins wordt enkel maar de laatste write operatie behouden. Er wordt geen vergelijking gemaakt met de waarde die reeds in de databank beschikbaar is en de nieuwe waarde die wordt doorgegeven. Men hanteert deze methode dan best enkel bij bestaande objecten waarbij het mogelijk is om UPDATE operaties op uit te voeren.

### 6.5.3 Opmerkingen

First/Last Write wins is een aantrekkelijke methode wanneer er op korte termijn synchronisatie moet worden gerealiseerd maar er zijn wel enkele bemerkingen bij deze methode.

- Er gaat onherroepelijk data verloren op deze manier. Indien de use case dit niet toelaat dan moet er worden gekeken naar andere conflict resolution policy.
- Het type van de data (finaal of niet-finaal) sluit de andere methode uit. Niet-finale data met First Write Wins maken de data impliciet finaal en immutable.

### 6.5.4 Toepassing

#### Toepassing op de business case

Momenteel hanteert de backend van Pridiktiv enkel een First/Last Write principe bij data. Naar de toekomst zou dit moeten veranderen naar een een bredere oplossing die conflict resolution kan aanbieden.

## 6.6 Conflict Resolution

Bij synchronisatie gaat er idealiter geen informatie verloren of laat de business case gaan dataverlies toe. Daarom is het ook belangrijk om te kijken hoe data kan worden gesynchroniseerd op een manier waarbij geen data verloren gaan. Om het onderzoek binnen de restricties van de business case te laten passen, worden hier enkel AWS services gebruikt bij het synchronisatie. Een andere belangrijke opmerking dat het enkel maar gaat over UPDATE en DELETE operaties want Een CREATE operatie kan niet leiden tot een conflict wanneer het toestel offline is.

### 6.6.1 Overzicht: Client

Net zoals bij First/Last Write Wins, is de rol van de client beperkt. Wanneer de data zonder timestamp in de database wordt bewaard, is het belangrijk om een timestamp bij te houden wanneer nieuwe data zijn aangemaakt of aangepast. Zo heeft de server een referentiepunt om de data te verwerken.

### 6.6.2 Overzicht: Server

Timestamps bieden een eenvoudige oplossing om de controleren wanneer een bepaalde actie heeft plaatsgevonden. De timestamp van het nieuwe aangepaste object wordt vergeleken met de timestamp van het object dat reeds aanwezig is in de database. Zo kan bijvoorbeeld een timestamp worden bijgehouden in een 'modified' veld. Dat veld kan worden vergeleken met de timestamp van de UPDATE of DELETE die wordt doorgestuurd. Zo kan de server bepalen of er al dan niet een conflict is en wat er in het geval van een conflict moet gebeuren. Indien er geen timestamp sinds de laatste update wordt bewaard in het object, dan wordt synchroniseren zeer moeilijk en is First/Last Write Wins een betere oplossing. Het bijhouden van een timestamp alleen is echter niet voldoende. Het is belangrijk om op voorhand te bepalen wat de conflict resolution policies zijn en welke uses cases er allemaal van toepassing zijn. Niet alle conflicten kunnen worden opgevangen door de server. Zo kan de server geen beslissing nemen wanneer een DELETE actie wordt uitgevoerd op een object en er na nog een update wordt doorgestuurd. De gebruiker moet dan een waarschuwing krijgen dat zijn object is verwijderd en dan zijn aanpassingen niet zijn opgeslagen. Indien de gebruiker geen boodschap zou krijgen, dan wekt de server de perceptie dat er iets fout is gegaan bij de verwerking van de data.

### 6.6.3 Toepassing

#### Toepassing op de business case

#### UPDATE operatie

Pridiktiv maakt gebruik van DynamoDB voor het bijhouden van de data. In DynamoDB wordt er gewerkt met een Partition Key die kan worden vergeleken met een Primary Key in SQL-terminologie en optioneel een Sort Key die de Partition Key bevat in combinatie met een attribuut van het object. Daarnaast is het ook nog mogelijk om Secondary Indices te creëren die functioneren zoals Sort keys. Het is belangrijk dat de timestamp de Partition Key is of deel uitmaakt van de samengestelde Sort Key. Indien niet, is de DynamoDB verplicht om een full table scan uit te voeren op de tabel en over die data set te filteren. Omdat de timestamp deel uitmaakt van de Primary Key, is het bij updates eenvoudig om bij te houden wanneer de laatste update is uitgevoerd en om te voorkomen dat een UPDATE gedupliceerd wordt. Dit laatste wordt vermeden doordat de Partition Key unique moet zijn en dus met andere woorden kan die niet worden gedupliceerd zonder dat DynamoDB een exceptie gooit.

#### DELETE operatie

Het is in de business case van Pridiktiv niet mogelijk om date te verwijderen. Alle data moet zichtbaar blijven in een historiek. Hierdoor is het niet toegelaten om DELETE operaties uit voeren, enkel UPDATE operaties.

## 6.7 Open-source libraries

Voor het synchroniseren van de data bij Pridiktiv in AWS wordt er gebruik gemaakt van twee verschillende Open Source libraries. Deze zijn gemaakt om een oplossing aan te bieden voor Pridiktiv en in kader van dit onderzoek. De componenten zijn geschreven in JavaScript voor NodeJS 4.3 en hoger. Hierdoor is het mogelijk om nieuwere features uit ES6 te gebruiken zoals Promises. Het is specifiek ontwikkeld om te werken met Simple Queue Service van AWS maar biedt de flexibiliteit om gebruikt te worden buiten AWS Lambda, bv in AWS EC2 instances die ook NodeJS gebruiken. Deze libraries zijn ontwikkeld in kader van dit onderzoek en worden gebruikt binnen de productieomgeving van de Pridiktiv applicaties.

### 6.7.1 aws-sqs-push

Deze library heeft een functie die berichten op de SQS queue plaatst en een Promise retourneert wanneer er een bericht op de queue is geplaatst. De naam van de queue wordt met een hulpfunctie aws-sqs-geturl opgevraagd. Op deze manier is de gebruiker van deze library niet verplicht om de volledige ARN naam van de SQS door te geven. Wanneer

de mesage een object bevat is dan wordt het object met JSON.stringify() automatisch omgevormd naar een string.

```
1
2   const sqsPush = require('aws-sqs-push');
3
4   sqsPush('QueueName', 'SomeMessage').then(messageId => {
5         console.log(messageId);
6       //=> '8a98f4d0-078b-5176-9af2-bbd871660ecb'
7   });
8
9   sqsPush('QueueName', 'SomeMessage', {awsAccountId: '123456789101'
       }).then(messageId => {
10        console.log(messageId);
11      //=> '8a98f4d0-078b-5176-9af2-bbd871660ecb'
12  });
```

Listing 6.2: Voorbeeld dat data plaatst op een SQS queue met behulp van de aws-sqs-push library

### 6.7.2 aws-sqs-poll

De aws-sqs-poll library vraagt aan de SQS queue berichten. Die worden dan geretourneerd als een string of indien het een stringified object is, als een object. Net zoals bij de aws-sqs-push wordt er gebruikt gemaakt van een hulplibrary voor het opvragen van de ARN naam van de queue.

```
1
2   const awsSqsPoll = require('aws-sqs-poll');
3
4   awsSqsPoll('QueueName')
5       //  ["MessageId": "28f61fd2-b9ca-4cb9-879a-71ea8bce4636",
6       //   "ReceiptHandle": "
            AQEB9mnsxtAZlwnDERxn3yADAP96QRe0KPbqaKXLvvchqmD4jAr",
7       //   "MD5OfBody": "098f6bcd4621d373cade4e832627b4f6",
8       //   "Body": "test"]
9
10
11  awsSqsPoll('QueueName', {AwsAccountId: '123456789012',
        numberOfMessages: 1, timeout: 20, json: false})
12      //  ["MessageId": "28f61fd2-b9ca-4cb9-879a-71ea8bce4636",
13      //   "ReceiptHandle": "
            AQEB9mnsxtAZlwnDERxn3yADAP96QRe0KPbqaKXLvvchqmD4jAr",
14      //   "MD5OfBody": "098f6bcd4621d373cade4e832627b4f6",
15      //   "Body": "test"]
```

Listing 6.3: Voorbeeld hoe berichten worden opgehaald van de SQS queue

### 6.7.3 aws-sqs-deletemessage

Een kleine functie die SQS messages verwijderd op basis van de ReceiptHandle die wordt meegestuurd wanneer er een bericht wordt opgevraagd. De message is verwerkt dan mag het bericht zonder problemen worden verwijderd van de queue. Net zoals bij de andere bovenstaande functies, heb je altijd de ARN naam nodig van de SQS queue die je wenst op te roepen. Dus hier wordt opnieuw de hulpfunctie aws-sqs-geturl nodig.

```
1
2   const awsSqsDeletemessage = require('aws-sqs-deletemessage');
3
4   awsSqsDeletemessage('somequeue', 'SasuWXPJB+
        CwLj1FjgXUv1uSj1gUPAWV66FU/').then(id => {
5     console.log(id);
6     //=> 'b5293cb5-d306-4a17-9048-b263635abe4
7   });
8
9   awsSqsDeletemessage('somequeue', 'SasuWXPJB+
        CwLj1FjgXUv1uSj1gUPAWV66FU/', {awsAccountId: '123456789012'}).
        then(id => {
10    console.log(id);
11  //=> 'b5293cb5-d306-4a17-9048-b263635abe4
12  });
```

Listing 6.4: Voorbeeld hoe een bericht wordt verwijderd van SQS nadat het is verwerkt

### 6.7.4 aws-sqs-geturl

Hulplibrary die de ARN naam opvraagt van een specifieke SQS queue. Aan de hand van de AWS root account id, die automatisch wordt meegestuurd in een request, kan samen met de naam de ARN naam van een bepaalde SQS queue worden opgehaald. De AWS JavaScript SDK laat dit ook toe maar de functie gebruikt callbacks en een complexere configuratie. Door het gebruik van deze hulplibrary is de configuratie verwaarloosbaar en wordt er geen gebruik gemaakt van callbacks maar van promises

```
1
2  const awsGetSqsUrl = require('aws-sqs-geturl');
3
4  awsGetSqsUrl('somequeue').then(url => {
5    console.log(url);
6    //=> https://sqs.eu-west-1.amazonaws.com/123456789111/somequeue
7  });
8
9  awsGetSqsUrl('anotherqueue', {awsAccountId: '123456789012'}).then
       (url => {
10   console.log(url);
11 //=> https://sqs.us-west-1.amazonaws.com/123456789012/
       anotherqueue
12 });
```

Listing 6.5: Voorbeeld hoe de ARN van een SQS wordt opgehaald

# 7. Conclusie

Afhankelijk van de restricties waarbinnen een applicatie moet worden gebouwd, kan men voor online/offline synchronisatie gebruik maken van de een volledig oplossing waarbij synchronisatie wordt aangeboden als een deel van totaal pakket zoals Microsoft Azure Applications, CouchDB en Google's Firebase. Deze opties werden maar kort toegelicht en het belangrijkste gegeven is hierbij dat de synchronisatie bijna volledig automatisch verloopt met enkel wat. Een allesomvattende oplossing is echter niet geschikt voor elke use case. In het voorbeeld van Pridiktiv is de nood aan een managed database en het gebruik van een serverless arcitectuur met AWS Lambda's de belangrijkste redenen om zelf de synchronisatie methodes in te bouwen in de huidige applicatie.

Wanneer online/offline synchronisatie moet worden geïmplementeerd in een applicatie, bestaat de eerste stap om de use cases onder te verdelen in de verschillende manieren voor synchronisatie. Wanneer absoluut geen data mag verloren gaan moet men resoluut kiezen voor conflict resolution. Wanneer niet alle data belangrijk is, kan er worden geopteerd voor een First/Last Write Wins techniek waarbij er onherroepelijk informatie verloren gaat. De belangrijkste conclusie die men uit het onderzoek kan trekken is dat er geen allesomvattende methode bestaat maar eerder een verzameling aan technieken op om synchronisatie van data uit de client en server te waarborgen. Wanneer er synchronisatie wordt ingebouwd is het belangrijk om ook rekening te houden met performantie en efficiëntie en de verantwoordelijkheid te verdelen tussen client -en server side. Voor de applicatie van Pridiktiv, waarbij er met gevoelige medische data wordt gewerkt, is het absoluut noodzakelijk dat er geen belangrijke data verloren gaat en alles netjes gesynchroniseerd word met de achterliggende backend. Ook naar user experience is synchronisatie een belangrijke factor. Eindgebruikers hebben enkel maar baat bij een robuuste offline/online synchronisatie. De applicatie kan bij een onderbreking in de connectie nog verder worden gebruikt zonder problemen. Afhankelijk van het belang van de data wordt alles

ook zorgvuldig gesynchroniseerd indien de gebruiker terug online gaat. Teruggekoppeld naar de use case van Pridiktiv, houdt dit in dat de applicatie ook zonder problemen kan worden gebruikt op locaties zoals woonzorgcentra waarbij er vaak maar beperkte of geen internetverbinding beschikbaar is.

Samengevat kan er worden gesteld dat het probleem van synchronisatie zeer specifiek is aan de use case en welke data men wenst te persisteren maar wel essentieel is voor een aangename user experience. Een interessante piste voor Amazon is dan ook zonder twijfel een service waarbij data uit mobiele applicaties of andere externe data bronnen gesynchroniseerd wordt met DynamoDB (of Aurora, een andere managed databank die Amazon Web Services aanbiedt). Op die manier zou het dan ook mogelijk zijn om bij complexe use cases de data te synchroniseren met de databank. Dit zou zonder twijfel de aantrekkelijkheid van AWS verhogen. Terwijl het onderzoek zich voornamelijk heeft gefocust op data synchronisatietechnieken, kan het interessant zijn om bijvoorbeeld de kost in kaart te brengen om over stappen van een fully-managed database naar een andere data source provider die synchronisatie toelaat zonder dat men zelf veel rekening moet houden met synchronisatie.

# Bibliografie


Billiet, B. (2016). Scalable Angular 2 Architecture. Verkregen van http://blog.brecht.io/A-scalable-angular2-architecture/

Camden, R. (2016). *Client-Side Data Storage*. O'Reilly.

First, O. (2017). Offline first mission statement. Verkregen van http://offlinefirst.org/

Gechev, M. (2016). Scalable Angular applications. Verkregen van http://blog.mgechev.com/2016/04/10/scalable-javascript-single-page-app-angular2-application-architecture/

Google. (2017). Why develop for offline? Verkregen van https://developer.chrome.com/apps/offline_apps

Leemans, B. (2013). Overview of the IndexedDB API. Verkregen van https://developer.mozilla.org/nl/docs/IndexedDB

Mozilla. (2017a). Explanation on Promises. Verkregen van https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Promise

Mozilla. (2017b). Web API Overview. Verkregen van https://developer.mozilla.org/nl/docs/WebAPI

ngrx. (2017). Documentation for ngrx. Verkregen van https://github.com/ngrx/store

ReactiveX. (2017). Documentation on how to use RX. Verkregen van http://reactivex.io/intro.html

Richardson, C. (2015). Overview of microservices. Verkregen van http://microservices.io/patterns/microservices.html

Services, A. W. (2017). Overview of the different AWS services. Verkregen van https://aws.amazon.com/documentation/

W3C. (2017a). Overview of W3C Specification. Verkregen van https://www.w3.org/TR/webdatabase/

W3C. (2017b). Specification for Webworkers. Verkregen van https://w3c.github.io/workers/

WHATWG. (2017). Standard for storage by WHATWG. Verkregen van https://html.spec.whatwg.org/multipage/webstorage.html

# Lijst van figuren

# Lijst van tabellen