



HoGent

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Kotlin Native, het nieuwe cross-platform framework voor de mobiele omgeving

Ilias Van Wassenhove

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

Promotor:
Johan Van Schoor
Co-promotor:
Sander Goossens

Instelling: Endare

Academiejaar: 2017-2018

Tweede examenperiode

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Kotlin Native, het nieuwe cross-platform framework voor de mobiele omgeving

Ilias Van Wassenhove

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

Promotor:
Johan Van Schoor
Co-promotor:
Sander Goossens

Instelling: Endare

Academiejaar: 2017-2018

Tweede examenperiode

Woord vooraf

Graag neem ik even de tijd om mijn onderwerpkeuze te motiveren.

Ik heb dit onderwerp gekozen omdat ik een grote passie heb voor programmeren. Tijdens het eerste semester van het derde academiejaar toegepaste informatica heb ik kennis mogen maken met Android en iOS. Hierbij heb ik ontdekt dat dit de richting is waarin ik wil verder gaan, namelijk mobiele applicaties. Tijdens de lessen Android werd er af en toe eens gediscussieerd waarom we nog steeds Java gebruikten in plaats van Kotlin. Ik had persoonlijk nog niet veel van Kotlin gehoord maar toen is mijn interesse ontstaan. Ik ben onmiddellijk dingen beginnen opzoeken over deze programmeertaal. Toen het tijd was om een bachelorproefvoorstel in te sturen wou ik zeker iets doen met mobiele applicaties en wanneer mijn stagebedrijf nog eens een onderwerp over Kotlin en cross-platformiteit doorstuurde, was de keuze snel gemaakt.

Tenslotte wil ik nog enkele personen bedanken.

Ten eerste wil ik mijn promotor, Johan Van Schoor, bedanken voor de hulp, raad en opbouwende commentaar die ik gekregen hebben bij het opstellen van deze bachelorproef. Mede dankzij zijn begeleiding ben ik tot een mooi resultaat gekomen.

Ten tweede zou ik graag mijn co-promotor, Sander Goossens, willen bedanken, wie ook mijn stagementor was. Hij stond altijd paraat om mijn vragen te beantwoorden en indien ik hulp nodig had was het nooit een probleem om even uitleg te geven.

Tenslotte zou ik iedereen waarmee ik heb samengewerkt willen bedanken voor de vlotte samenwerking. Er werd steeds samengewerkt op een zeer toffe en ontspannen manier waarbij iedereen gerespecteerd werd.

Hierdoor kan ik met een voldaan gevoel deze bachelorproef afgeven. Ik wens u veel plezier tijdens het lezen van mijn werkstuk.

Ilias Van Wassenhove

Samenvatting

Nog niet zo lang geleden had men bij het bouwen van mobiele applicaties (Android, iOS en Windows) enkel en alleen de mogelijkheid om drie aparte applicaties te bouwen, native applicaties. Dit vroeg zeer veel werk en was heel kostelijk voor veel bedrijven. Als reactie hierop zijn de hybride frameworks uitgevonden, denk maar aan: React, Xamarin en Angular. Bij deze frameworks moest er maar eenmalig code geschreven worden, de user interface was hetzelfde voor alle platformen en het framework zorgde er voor dat je applicatie op elk besturingssysteem kon draaien. We mogen namelijk nog een framework toevoegen aan het lijstje, namelijk Kotlin Native.

Kotlin is een nieuwe programmeertaal die geïntroduceerd werd in 2011 door JetBrains. Origineel is het een programmeertaal die draait op de JVM¹, net zoals Java. Maar JetBrains is veel verder gegaan dan toestaan die een JVM kunnen draaien. Met Kotlin Native hebben ze zich gericht tot alle platformen en besturingssystemen. In dit onderzoek zal onderzocht worden hoe het komt dat Kotlin Native op alle platformen en besturingssystemen kan draaien en hoe Kotlin Native nu precies werkt.

Maar waarom is het nu belangrijk om Kotlin Native gedetailleerd te gaan bestuderen? Kotlin Native is nog heel jong en er zijn al heel wat ontwikkelaars die reeds Kotlin gebruiken voor verschillende doeleinden. Zij staan ook te springen om aan de slag te gaan met Kotlin Native. De enige beperking die zij momenteel ervaren is documentatie. Van dit onderzoek wordt verwacht dat door het gedetailleerde bestuderen van Kotlin Native een mooie documentatie kan opgeleverd worden over de werking van Kotlin Native waar iedere ontwikkelaar met aan de slag kan gaan.

Resultaat: wat was het resultaat?

¹Java Virtual Machine

Conclusie: wat is/zijn de belangrijkste conclusie(s)?

Perspectief: blijven er nog vragen open die in de toekomst nog kunnen onderzocht worden?

Wat is een mogelijk vervolg voor jouw onderzoek?

Inhoudsopgave

0.1	Probleemstelling	15
0.2	Onderzoeksvraag	16
0.3	Onderzoeksdoelstelling	16
0.4	Opzet van deze bachelorproef	17
1	Stand van zaken	19
1.1	Wat is Kotlin	19
1.2	Kotlin en Android	20
1.3	Automigration	20
1.4	Kotlin web en back-end	20
1.5	Kotlin Native	20
1.6	Compiler	21
1.7	Het gebruik van Kotlin	21

1.8	Waarom Kotlin?	22
2	Methodologie	23
3	De compilatie van Kotlin Native	25
3.1	Wat is LLVM?	25
3.1.1	Deelprojecten LLVM	26
3.2	De werking van LLVM	26
3.2.1	De werking van een standaard compiler	26
3.2.2	Meerdere front- en backends	28
3.3	Verschil met LLVM	29
3.4	LLVM en Kotlin	29
3.5	LLVM en JVM	29
4	De werking van Kotlin Native	31
4.1	Wat is Kotlin Native?	31
4.2	Het delen van code in Kotlin Native	32
4.3	De structuur van een Kotlin Native project	33
4.4	Expect en actual klassen	34
4.5	Gemeenschappelijke klassen	35
4.6	Code gebruiken	35
4.7	Een Kotlin Native project	36
4.8	De werking van Kotlin Native	36
4.8.1	Graphical user interface	36
4.8.2	Back-end	36

4.8.3	Business logic	36
4.9	Huidige mogelijkheden	36
4.10	Beperkingen	36
4.11	Toekomst	36
4.12	Besluit	36
5	Standalone iOS project	37
6	Conclusie	39
A	Onderzoeksvoorstel	41
A.1	Introductie	41
A.2	State-of-the-art	42
A.3	Methodologie	43
A.4	Verwachte resultaten	43
A.5	Verwachte conclusies	44
	Bibliografie	45

Lijst van figuren

1.1	Hoeveelheid Kotlin code op GitHub Dmitry Jemerov, 2017	21
1.2	Kotlin user groups in de wereld Dmitry Jemerov, 2017	22
3.1	Driefasenontwerp	26
3.2	Taalspecifieke abstracte syntaxboom	27
3.3	Meerdere front- en backends	28
3.4	LLVM implementatie van driefasenontwerp	29
4.1	Het delen van code in Kotlin Native (Developine, 2017)	32
4.2	Kotlin Native structuur	33

Lijst van tabellen

Inleiding

De ontwikkeling van mobiele applicaties is een zeer belangrijke niche in de IT. Zo kunnen we drie verschillende besturingssystemen onderscheiden bij mobiele applicaties: Android, iOS en Windows. Die laatste wordt steeds minder en minder gebruikt voor mobiele toepassingen. Volgens het artikel „Global mobile OS market share in sales to end users from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2017” (2018), van Statista, een portaal voor statistieken en onderzoek, heeft Android een marktaandeel van 87.7%. Dit wil dus zeggen dat meer dan 85% van de mensen die een smartphone heeft, een toestel heeft met het Android besturingssysteem.

De mobiele applicaties die draaien op Android werden allemaal geprogrammeerd in Java. Maar sinds kort is er een nieuwe mogelijkheid, Kotlin. Kotlin is een programmeertaal die ontworpen is door JetBrains in 2011. Zes jaar later (2017) biedt Google volledige ondersteuning om Android applicaties te programmeren in Kotlin.

0.1 Probleemstelling

Vanuit dit onderzoek zal blijken hoe goed Kotlin is als cross-platform ontwikkelingstaal en wat de mogelijkheden zijn van Kotlin om te programmeren voor verschillende platformen. Deze vraag kwam vanuit mijn stagebedrijf (Endare BVBA). Een developer bij Endare is reeds bezig met het aanleren van Kotlin en heeft reeds enkele Android projecten gemaakt met Kotlin. Bij Endare wordt er zeer veel aan cross-platform ontwikkeling gedaan. Zo heeft een mede-stagiair tijdens zijn stage bij Endare gewerkt met React Native. Een framework waarbij je via één codebase native applicaties kan schrijven voor iOS en Android. Tegenwoordig worden er nog maar weinig native applicaties gebouwd. Waarom?

Voor veel bedrijven zijn native applicaties een zéér hoge kost. Je hebt enerzijds twee keer een kost om de applicaties te bouwen, anderszijds heb je twee keer een kost om de applicaties te onderhouden of eventueel uit te breiden. Maar er zijn natuurlijk wel redenen waarom bedrijven nu net wel native applicaties willen in plaats van hybride applicaties. Zo zal men bij native applicaties gebruik kunnen maken van alle features van het besturingssysteem, wat niet altijd kan bij hybride applicaties, en de performance zou ook een stuk beter zijn.

Tegenwoordig heb je meer dan genoeg keuze om hybride applicaties te maken. Zo is er:

- Ionic
- Cordova
- React Native
- Xamarin

En ga zo maar door... Met Kotlin Native komt er een nieuw framework zich aanbieden. Dit framework is nog zeer jong en er bestaat bijna geen documentatie. Ontwikkelaars die dit framework willen gebruiken moeten momenteel zelf de werking van Kotlin Native proberen achterhalen. Daarom is het belangrijk om te bestuderen of Kotlin een mogelijkheid biedt tot een nieuwe cross-platform programmeertaal, hoe de compiler van Kotlin ervoor kan zorgen dat het op meerdere platformen kan draaien en hoe men nu juist gebruik kan maken van Kotlin Native.

Voor het stagebedrijf, Endare, heeft deze bachelorproef een grote meerwaarde aangezien zij iedere dag met cross-platform frameworks aan de slag moeten.

0.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvragen voor deze bachelorproef zijn:

- Hoe zorgt de Kotlin compiler ervoor dat Kotlin op verschillende platformen kan gebruikt worden?
- Wat is de werking van Kotlin Native?
- In hoeverre kan Kotlin gebruikt worden voor cross-platform applicatieontwikkeling?

0.3 Onderzoeksdoelstelling

Voor deze bachelorproef zijn er verschillende criteria van succes:

- De werking van de compiler die Kotlin gebruikt documenteren
- Goede documentatie opstellen over de werking van Kotlin Native
- Bepalen in hoeverre Kotlin gebruikt kan worden als cross-platform programmeertaal

0.4 Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 1 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 2 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 3 zal onderzocht worden, via een literatuurstudie, wat de werking is van de Kotlin compiler. Hoe ervoor kan gezorgd worden dat Kotlin ook op apparaten zonder een JVM kan draaien.

In Hoofdstuk 4 zal Kotlin Native bestudeerd worden. Hierin zal de werking van Kotlin Native gedocumenteerd worden.

In Hoofdstuk ?? zal er praktisch een Kotlin Native project worden uitgewerkt.

In Hoofdstuk 6, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

1. Stand van zaken

Dit hoofdstuk is een literatuurstudie over de huidige stand van zaken rond Kotlin. Hierin wordt bekeken wat Kotlin eigenlijk is en waarom Kotlin is uitgevonden. Daarna is Kotlin op verschillende platformen aan de beurt, meer specifieke is dit iOS, Android, web-applicatie en als back-end. Tenslotte het gebruik van Kotlin, hoeveel ontwikkelaars maken er reeds gebruik van Kotlin? Na het lezen van dit hoofdstuk bent u volledig op de hoogte van met de laatste nieuwigheden rond Kotlin.

1.1 Wat is Kotlin

Kotlin is een open-source programmeertaal die object-georiënteerde en functionele programmatie features combineert. Kotlin is ook een statically typed programmeertaal. Dit betekent het type van de variabele is toegekend wanneer de code wordt gecompileerd. Javascript is een dynamically typed programmeertaal, waarbij je aan een variabele verschillende types kan toekennen. Zo kan een variabele bij Javascript in het begin een getal zijn, maar een beetje verder in de code kan dit veranderd worden naar een tekst.

Kotlin is ontworpen door JetBrains. JetBrains is een organisatie afkomstig van Sint-Petersburg, Rusland. De naam 'Kotlin' is afkomstig van het Kotlin eiland, 30 km ten westen van Sint-Petersburg. JetBrains is een software ontwikkelingbedrijf dat gesticht is in het jaar 2000. Hun hoofdkantoor is gevestigd in Praag, Tjechië en hun core-business is het ontwikkelen van tools die gebruikt kunnen worden door verschillende types van software ontwikkelaars. Zo hebben zij IDE's¹ ontwikkeld voor Java, Ruby, Python, PHP, SQL, Objective-C, C++, C# en JavaScript.

¹Integrated Development Environment

1.2 Kotlin en Android

In 2017 heeft Google bekend gemaakt dat het Kotlin volledig zou ondersteunen voor Android applicatieontwikkeling. Een Kotlin project maken in Android Studio is dan ook heel gemakkelijk. In Android Studio 3.0 heb je bij het aanmaken van een project de mogelijkheid om direct de ondersteuning voor Kotlin in te schakelen. Hierdoor zal je aangemaakte project onmiddellijk in Kotlin geschreven zijn.

Wil je bij een reeds bestaand project gebruik maken van Kotlin, dan zal je voor de klassen die je wenst om te zetten naar Kotlin, de actie 'Convert Java File to Kotlin File' moeten uitvoeren. Hierbij zal Android Studio detecteren dat er gebruik gemaakt wordt van Kotlin, waardoor hij zal vragen om de Kotlin plugin te installeren via Gradle.

1.3 Automigration

Door de integratie van Kotlin in Android Studio werd er een conversietool ter beschikking gesteld. Met behulp van deze tool kan bestaande Java-code eenvoudig worden omgezet naar Kotlin. Dit zorgt ervoor dat veel tijd kan worden bespaard en het programmeren van dubbele code wordt zo vermeden. Maar deze conversietool bevat wel een klein risico. Het kan wel eens gebeuren dat code soms fout wordt geconverteerd.

Het is ook reeds mogelijk om zowel Java en Kotlin te combineren. Zo kunnen de verschillende object classes in Java worden geschreven en kan je via Kotlin alle objecten aanmaken. Of dit nuttig en best practice is, is te beslissen door de developer.

1.4 Kotlin web en back-end

Kotlin kan net zoals Java gebruikt worden om webapplicaties te bouwen. Dit in combinatie met bijvoorbeeld het Spring Framework, waarbij HttpServlets gebruikt worden om de webpagina's te tonen.

Wens je echter een full-stack webapplicatie te bouwen, dan heb je de mogelijkheid om ook een Kotlin server op te zetten. Zo kan je bijvoorbeeld aan de webapplicatie een RESTfull server hangen om verschillende API calls te doen.

Kotlin-applicaties kunnen worden geïmplementeerd op elke host die Java-webapplicaties ondersteunt, inclusief Amazon Web Services, Google Cloud Platform en veel meer.

1.5 Kotlin Native

Waarschijnlijk momenteel één van de meest nieuwe en innovatieve projecten van JetBrains is Kotlin Native. Momenteel is men gekomen aan versie 0.6 en er zijn al verschillende

voorbeeldprojecten beschikbaar gesteld door JetBrains. Kotlin Native zou het mogelijk moeten om éénmalige business logica te schrijven in een applicatie en deze te delen over verschillende platformen, bijvoorbeeld Android en iOS. De user interfaces zou men wel per platform moeten opbouwen, waardoor je toch het 'native applicatie'-gevoel krijgt. Kotlin Native zou dus moeten instaan voor het cross-platform gebeuren. Kotlin Native maakt gebruik van een totaal andere compiler dan JVM, zie sectie 1.6 voor meer info.

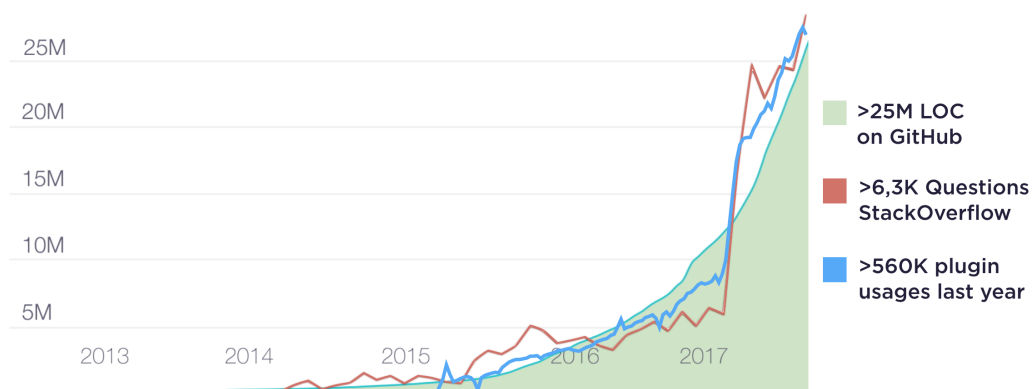
1.6 Compiler

Net zoals Java draait Kotlin op de JVM. Dit wil dus zeggen dat alle toestellen die een JVM kunnen draaien, ook Kotlin code ondersteunen. Maar sinds de dag dat JetBrains besloten heeft om zich niet enkel meer te richten op platformen die enkel en alleen de JVM ondersteunen, hebben zij ervoor gezorgd dat ongeacht welk platform of besturingssysteem je gebruikt, de Kotlin code wordt ondersteund. Dit komt door de LLVM compiler die Kotlin Native gebruikt. Deze wordt in hoofdstuk 3 verder besproken.

1.7 Het gebruik van Kotlin

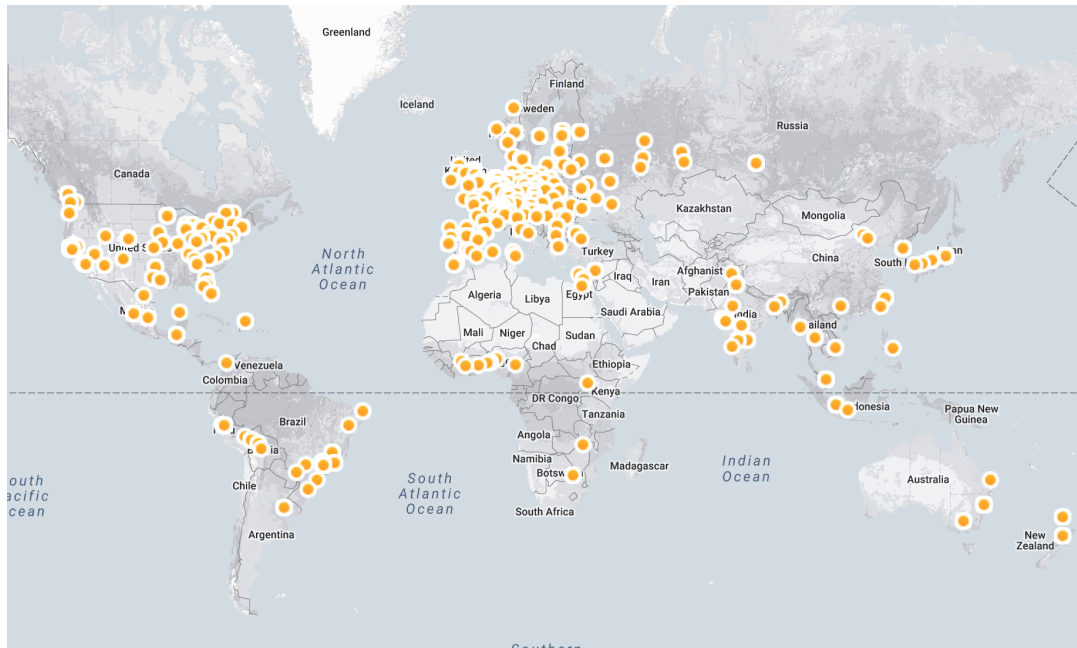
Het gebruik van Kotlin is gedurende de jaren zeer sterk gestegen. Op de blog van JetBrains zijn grafieken te vinden waarmee men aantoont dat de populariteit van Kotlin enkel maar stijgt.

Figuur 1.1 toont het aantal lijnen Kotlin code beschikbaar op GitHub, het aantal vragen gesteld op stackoverflow over Kotlin en het aantal keer dat de Kotlin plugin werd gebruikt. We kunnen hieruit besluiten dat het gebruik van Kotlin sterk stijgt de laatste drie jaren.



Figuur 1.1: Hoeveelheid Kotlin code op GitHub Dmitry Jemerov, 2017

Volgens statistieken van een Android software ontwikkelingsbedrijf genaamd AppBrain (2018), is Kotlin het beste framework voor Android applicaties te ontwikkelen. Verschillende belangrijke en veel gebruikte applicaties zoals Netflix, Twitter, Candy Crash bevatten grote delen Kotlin code.



Figuur 1.2: Kotlin user groups in de wereld Dmitry Jemerov, 2017

Figuur 1.2 toont de verschillende user groups over de volledige wereld. Het toont de sterke opkomst van Kotlin over de wereld, met een sterke concentratie in Europa.

1.8 Waarom Kotlin?

Maar waarom heeft JetBrains nu besloten te beginnen met een nieuwe programmeertaal en deze dan later verder uit te bouwen met een cross-platform framework?

Een verklaring die men vaak leest op het internet, is dat JetBrains Kotlin uitvond omdat ze niet tevreden waren met Java en hun eigen productiviteit wilden vergroten. Ze vonden dus Java in sommige aspecten 'slecht'. JetBrains is een ontwikkelaar van IDE's die geschreven worden in Java, en dit is waar het schoentje wringt. Aangezien ze zelf vinden dat Java gebreken heeft, moesten ze met een oplossing komen: Kotlin.

Anderzijds het feit dat ze kiezen voor een taal die draait op de JVM, betekent dus dat men niet alle bestaande libraries willen herschrijven, maar hergebruiken.

Op 2 augustus 2011 heeft JetBrains, in het jaar dat Kotlin bekend werd gemaakt, een artikel geschreven op hun blog „Why JetBrains needs Kotlin” (2011) waarin Dmitry Jemerov, Kotlin tools team lead, uitlegt waarom JetBrains Kotlin heeft ontworpen. In die blogpost vindt men volgend zin terug: "We willen productiever worden door over te schakelen op een meer expressieve taal.". Ze geven dus duidelijk aan dat men productiever wil worden, maar wil men hiermee bevestigen dat men Java niet voldoende vindt?

2. Methodologie

Vooraleer er aan de slag kon worden gegaan met het uittesten van Kotlin Native, of het analyseren van voorbeeldprojecten van JetBrains, was het belangrijk om te onderzoeken hoe het nu komt dat Kotlin Native op verschillende platformen kan draaien. Kotlin is oorspronkelijk, net zoals Java, een programmeertaal die gebruik maakt van de Java Virtual Machine. Het is daarom belangrijk om te onderzoeken welke compiler Kotlin gebruikt en wat de taak is van deze compiler. Dit is gebeurd aan de hand van een literatuurstudie. Het was niet nodig om dit praktisch te doen aangezien dit geen meerwaarde zou bieden aan deze bachelorproef.

Daarna werden de voorbeeldprojecten van JetBrains, geschreven in Kotlin Native, geanalyseerd om de werking van Kotlin Native te achterhalen. Hierbij was het de bedoeling om te kijken naar bepaalde aspecten. Hoe wordt de user interface opgebouwd, wordt er per platform een UI opgebouwd of is er slechts één UI? Hoe kunnen specifieke native modules gebruikt worden? Wat gebeurt er met de business logica?

Eenmaal de werking van Kotlin Native voldoende gedocumenteerd was, was het doel om zelf aan de slag te gaan met Kotlin Native en een kleine cross-platform applicatie te schrijven.

3. De compilatie van Kotlin Native

Kotlin is een programmeertaal die gebruik maakt van de JVM. Sinds de beslissing van JetBrains om zich ook te focussen op cross-platform development, moesten ze met een oplossing komen voor de JVM. De JVM wordt namelijk niet ondersteund op alle besturingssystemen. Zo ondersteunen bijvoorbeeld MacOS en iOS (mobile) geen JVM. JetBrains moest dus op zoek gaan naar een oplossing... de LLVM compiler.

3.1 Wat is LLVM?

Het LLVM-project is een verzameling modulaire en herbruikbare compiler- en toolchain-technologieën. Het project is ontwikkeld door de LLVM developer group, waarvan Vikram Adve en Chris Lattner de originele ontwikkelaars zijn. De naam 'LLVM' zelf is geen acroniem, het is de volledige naam van het project. Ondanks de naam heeft LLVM weinig te maken met de traditionele virtuele machines.

Het LLVM-project begon als een onderzoeksproject aan de universiteit van Illinois, met als doel een compilatiestrategie aan te bieden die in staat is om zowel statische als dynamische compilatie van programmeertalen aan te bieden. Een voorbeeld van een statische taal is Java, een voorbeeld van een dynamische taal is Javascript. Zowel beide types van programmeertalen kunnen dus gecompileerd worden door LLVM.

Sinds het ontstaan van LLVM is het project uitgegroeid tot een overkoepelend project dat bestaat uit een aantal deelprojecten. Veel van deze deelprojecten worden momenteel sterk gebruikt bij commerciële en open-source projecten en zelfs in academisch onderzoek.

Het grote voordeel van het gebruik van LLVM is de veelzijdigheid, flexibiliteit en herbruik-

baarheid. Dit wil zeggen dat het zo goed als in ieder soort project kan worden geïntegreerd. Het wordt daarom tegenwoordig gebruikt voor een groot aantal verschillende taken, dit gaande van het compileren van enkele kleine code-projecten tot het compileren van code voor massieve computers.

3.1.1 Deelprojecten LLVM

Enkele voorbeelden van deelprojecten van de LLVM developers group:

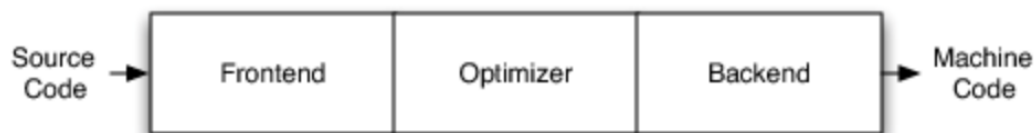
- **Clang** is een LLVM native C/C++/Objective-C compiler dat als doel heeft om verbazingwekkend snelle compilaties aan te bieden. Het zorgt overigens voor nuttige fout- en waarschuwingsberichten.
- Het **LLDB** project bouwt verder op libraries die aangeboden worden door LLVM en Clang om te zorgen voor een native debugger.
- Het **libc++** en **libc++ ABI** project voorziet een krachtige implementatie van de standaard C++ bibliotheek, met ondersteuning voor C++11.

3.2 De werking van LLVM

LLVM is dus een bibliotheek die gebruikt wordt om tussenliggende en/of machine-code te genereren en optimaliseren. Maar wat is nu de exacte werking van deze compiler?

3.2.1 De werking van een standaard compiler

Het meest populaire ontwerp voor een statische compiler, zoals de meeste C-compilers, is het driefasenontwerp waarbij de belangrijkste componenten de **front-end**, de **optimizer** en de **back-end** zijn.

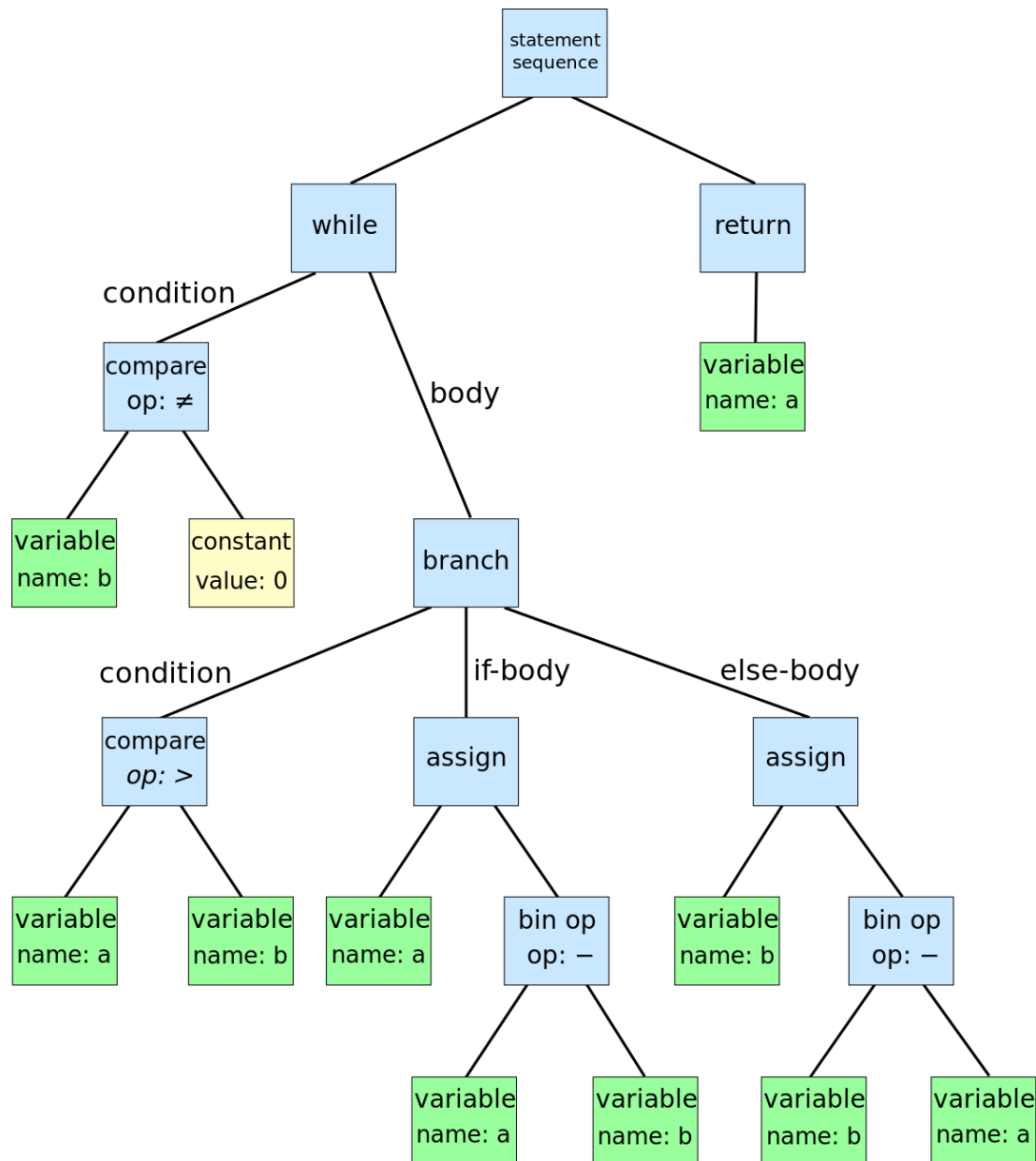


Figuur 3.1: Driefasenontwerp

De front-end

De front-end zorgt voor de analyse van de broncode. Deze heeft dus als taak om ervoor te zorgen dat geen code gecompileerd kan worden waarbij fouten aanwezig zijn. Dit gebeurt door het opstellen van een taalspecifieke abstracte syntaxboom om de syntaxcode voor

te stellen. Deze syntaxboom wordt optioneel geconverteerd naar een nieuwe boom voor optimalisatie en de optimizer en de back-end worden uitgevoerd aan de hand van deze boom. De JVM is ook een implementatie van dit driefasenontwerp. Een voorbeeld van een syntaxboom is te zien in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Taalspecifieke abstracte syntaxboom

De optimizer

De optimizer is verantwoordelijk, zoals de naam het zelfs zegt, voor het uitvoeren van een breed gamma van transformaties om de running time van de code te optimaliseren. Dit wordt gedaan door het elimineren van overbodige berekeningen, maar dit meestal afhankelijk van de taal die gebruikt werd en de doelarchitectuur.

De back-end

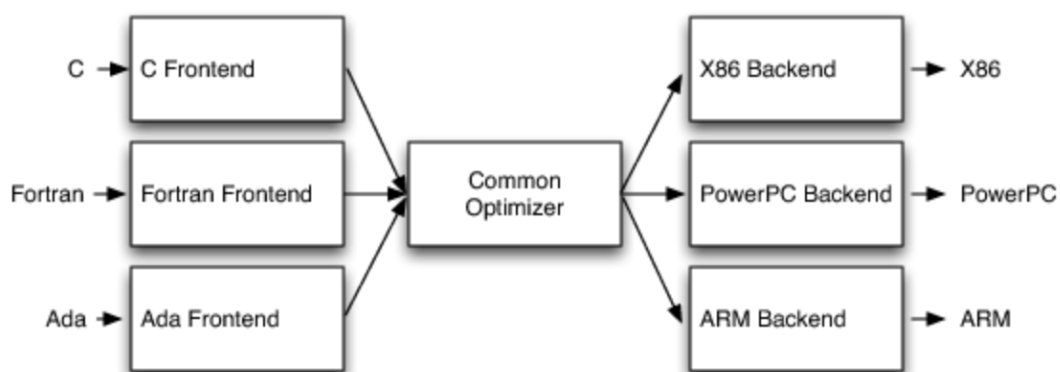
De back-end, ook bekend als de codegenerator, gaat de code gaan mappen naar een instructieset. Naast het maken van deze instructieset is het ook verantwoordelijk om ervoor te zorgen dat deze instructieset gebruik maakt van de ongewone kenmerken van de ondersteunde architectuur.

3.2.2 Meerdere front- en backends

Het grote voordeel van dit driefasenontwerp treedt op wanneer een compiler besluit om meerdere brontalen en architecturen te ondersteunen. Indien de optimizer een gemeenschappelijke code representatie gebruikt, dan kan een front-end geschreven worden voor elke taal die gecompileerd kan worden naar die gemeenschappelijke representatie, en een back-end kan worden geschreven voor elke doelarchitectuur dat daaruit kan compileren. Op figuur 3.3 is te zien dat door de common optimizer te gebruiken, er meerdere front-ends kunnen worden geschreven en meerdere doelarchitecturen kunnen worden ondersteund.

Met dit ontwerp, indien men wenst een nieuwe brontaal te ondersteunen, moet men enkel een nieuwe front-end schrijven maar de bestaande optimizer en back-end kunnen worden hergebruikt. Indien deze delen (front-end, optimizer en back-end) niet waren gescheiden, zou het implementeren van een nieuwe brontaal vereisen om helemaal opnieuw te beginnen, dus een volledig nieuwe compiler te schrijven. Indien men N doelarchitecturen heeft en M brontalen, dan zou men $N \cdot M$ compilers hebben.

Nog een voordeel van dit ontwerp is dat deze soorten van compilers een veel bredere set van programmeurs kan tevreden stellen. Dit is minder het geval indien men slechts één brontaal en doelarchitectuur zou ondersteunen. Voor een open-source project betekent dit dus



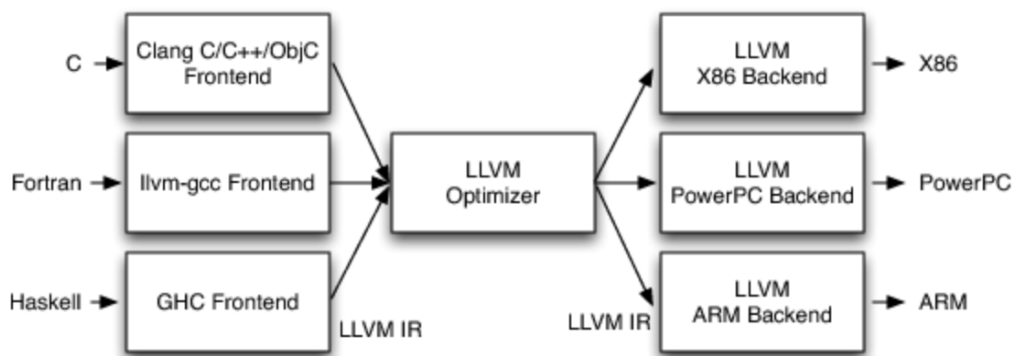
Figuur 3.3: Meerdere front- en backends

3.3 Verschil met LLVM

Maar wat is het verschil tussen een standaard compiler en LLVM?

In een LLVM-gebaseerde compiler heeft de front-end dezelfde taak als de front-end in een normale compiler. De code wordt daarna door de front-end vertaald naar LLVM IR¹, dit meestal door het opbouwen van een syntaxboom en deze later te converteren naar IR. De IR is eigenlijk het hart van de LLVM. Het is een low-level programmeertaal die zeer dicht aansluit bij assembly code. Deze IR heeft als taak om de code te verbeteren, waarna deze code in een soort van codegenerator wordt gestoken waarbij deze wordt omgezet naar native machinecode.

In een korte notendop: de front-end krijgt een brontaal binnen en gaat deze taal parsen, valideren en analyseren. Hij stelt de syntaxboom op en zet deze om naar LLVM IR. De optimizer gaat de code optimaliseren en stuurt de IR code naar de back-end die dient als codegenerator met als resultaat machinecode.



Figuur 3.4: LLVM implementatie van driefasenontwerp

3.4 LLVM en Kotlin

Kotlin Native is een technologie dat Kotlin via LLVM direct compileert naar machine code. De Kotlin Native compiler produceert zelfstandige uitvoerbare bestanden die zonder virtuele machine kunnen worden uitgevoerd. Hierdoor is het mogelijk om Kotlin te gebruiken op ieder platform of besturingssysteem.

3.5 LLVM en JVM

De LLVM is een low-level register gebaseerde compilatie technologie. Het is ontworpen om onderliggende hardware abstraheren en een lijn te trekken tussen de front-end en de back-end van een compileerprogramma.

¹Intermediate Representation

De JVM is een high-level stack gebaseerde virtuele machine. De JVM biedt garbage collection aan, heeft kennis van objecten en virtuele methode aanroepen. JVM biedt dus een veel hogere infrastructuur voor taalinteroperabiliteit.

Het grote verschil tussen LLVM en JVM is dus het niveau waarop beide werken.

4. De werking van Kotlin Native

JetBrains heeft met Kotlin Native de interesse van elke cross-platform ontwikkelaar getrokken. Niemand had verwacht dat Kotlin uitgebreid ging worden met een cross-platform framework. Zo zal JetBrains met Kotlin Native een nieuwe markt betreden, het maken van native applicaties via één codebase.

4.1 Wat is Kotlin Native?

Kotlin Native is een technologie die zorgt voor de compilatie van Kotlin naar native binaire bestanden die zonder VM draaien. Kotlin Native maakt gebruik van een LLVM gebaseerde backend voor de Kotlin-compiler en een native implementatie van de Kotlin bibliotheek. Origineel werd Kotlin Native uitgevonden om compilatie van Kotlin mogelijk te maken op platformen die geen virtuele machines ondersteunen, zoals bijvoorbeeld de JVM. Een voorbeeld hiervan is iOS dat geen JVM ondersteunt.

Kotlin Native ondersteunt volledig de interoperabiliteit met native code. Wat betreft het gebruik van Kotlin libraries, deze zijn volledig ter beschikking van de ontwikkelaar. Indien een bepaalde bibliotheek niet ondersteunt wordt, bestaat er een tool om een tussenliggende bibliotheek te genereren van een C-header bestand, waardoor deze bibliotheek toch gebruikt kan worden. Op macOS en iOS wordt samenwerking met Objective/C-code ook ondersteund.

Kotlin Native is momenteel heel jong en zit nog in volledige ontwikkeling. Er zijn echter enkele preview-releases aanwezig om te proberen. De ondersteuning voor de IDE's is beschikbaar als een plugin voor CLion.

4.2 Het delen van code in Kotlin Native

Het doel van Kotlin Native is om een framework aan te bieden dat gebruikt kan worden voor cross-platform ontwikkeling. De focus ligt niet op het maken van user interfaces via één codebase, maar wel op het delen van de business logica. JetBrains wil dus via Kotlin Native de mogelijkheid aanreiken om alle business logica in een applicatie te hergebruiken op verschillende platformen en per platform de user interface op te bouwen.

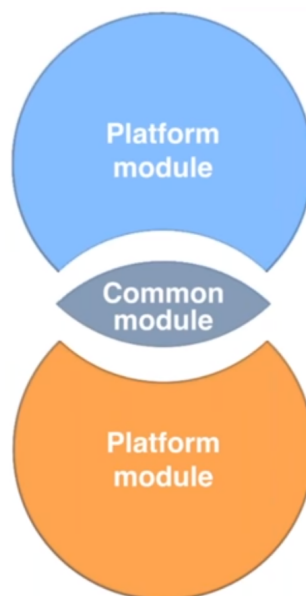
Voordelen:

- Hergebruik van de business logica
- Mogelijkheid om per platform, zowel in de business logica als in de user interfaces, andere accenten naar voor te brengen

Nadelen:

- Verplichting om meerdere user interfaces op te bouwen
- Grotere kosten en meer tijd nodig
- Opzet van dit soort projecten is niet gemakkelijk voor de onervaren gebruiker

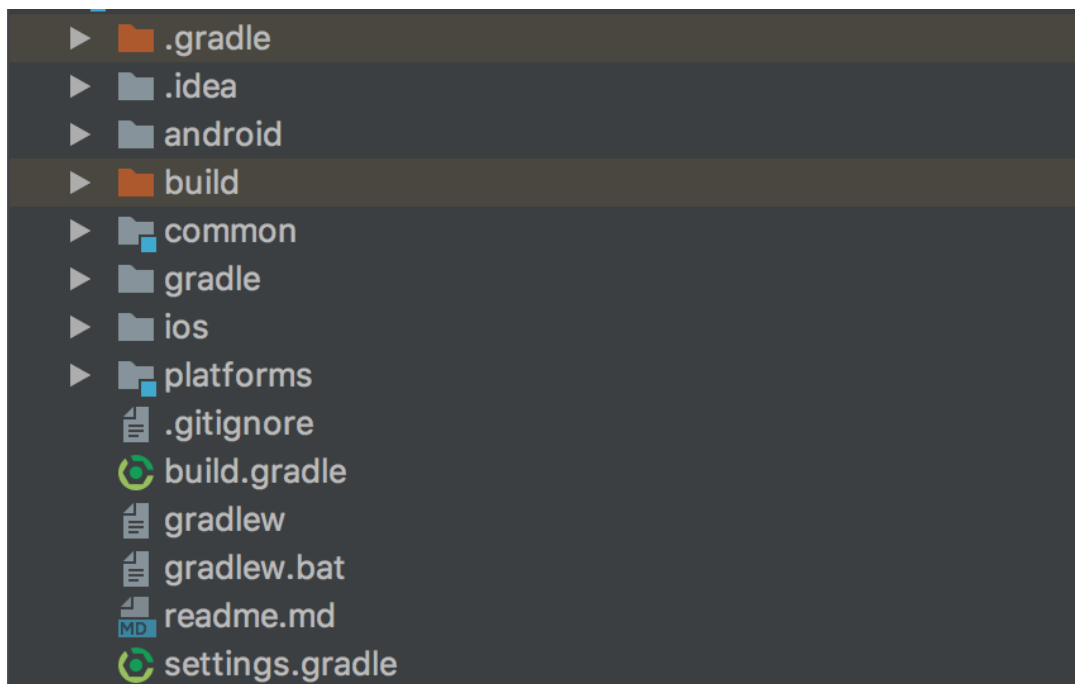
Figuur 4.1 toont hoe Kotlin Native business logica deelt over de verschillende platformen heen. Er wordt gebruik gemaakt van een **common** module. In deze module bevindt zich de gemeenschappelijke code, die gedeeld met alle platformen. Daarnaast is er per platform dat je wenst te ondersteunen een aparte platformmodule. Deze platformmodules maken gebruik van de common module en men kan er ook platformspecifieke code schrijven. Zie sectie 4.4 voor een meer technische uitleg.



Figuur 4.1: Het delen van code in Kotlin Native (Developine, 2017)

4.3 De structuur van een Kotlin Native project

Voor te beginnen met het ontwikkelen van een Kotlin Native project is het belangrijk om na te gaan wat de structuur is van een Kotlin Native project. Er is namelijk geen IDE die een volledig Kotlin Native project voor jou genereert, daarom is het dus belangrijk dat je vanaf het begin een goede project structuur hebt. Figuur 4.2 toont een goede structuur van een Kotlin Native project.



Figuur 4.2: Kotlin Native structuur

Op deze figuur zijn dus een aantal mappen te vinden:

- De **.gradle** map houdt alle instellingen en andere bestanden bij die gebruikt worden door Gradle om het project te bouwen. Dit wordt automatisch gegenereerd wanneer er een Gradle run wordt uitgevoerd.
- Voor dit voorbeeld werd IntelliJ gebruikt als IDE. IntelliJ zal de map, **.idea**, automatisch genereren om verschillende instellingen van het project bij te houden. Alle project specifieke instellingen zijn aanwezig in deze map.
- **android** bevat het volledige android project.
- De **build** map bevat informatie over de laatste uitgevoerd build.
- De **common** map bevat gemeenschappelijke code dat over de verschillende platformen wordt gedeeld.
- De **gradle** map bevat een properties bestand. In dit bestand worden enkele belangrijke properties onthouden, dit zoals de locatie van de gradle installatie.
- **ios** bevat het volledige iOS project.
- De **platforms** map bevat voor iedere platform dat je wenst te ondersteunen een folder. In dit voorbeeld zijn dit dus twee mappen, iOS en Android. De bedoeling is om hierin specifieke code te schrijven die varieert per platform. Zie sectie 4.2 voor

meer informatie.

4.4 Expect en actual klassen

Stel dat men wenst om een 'ABCMethods' Kotlin klasse te hebben die de methodes callA(), callB() en callC() heeft, maar waarvan de implementatie verschillend is per platform.

In de common module zal men de 'ABCMethods' klasse maken. Het keyword zegt bijna zelf wat de betekenis ervan is: we 'verwachten' een klasse ABCMethods. Het expect keyword kan ook vergeleken worden met een standaard interface.

```
expect class ABCMethods() {  
    fun callA(): String  
    fun callB(): String  
    fun callC(): String  
}
```

Met het actual keyword geven we aan dat deze klasse een concrete implementatie is van 'ABCMethods'. De compiler zal in eerste instantie zoeken naar de ABCMethods klasse in de common module. Hij zal daar merken dat ABCMethods een expect klasse is waardoor hij naar de platformspecifieke folder zal gaan en daar de actual klasse van ABCMethods zal gebruiken.

Voor iedere platform wordt dus een concrete implementatie voorzien van de ABCMethods klasse. Dit in de map platforms.

Een mogelijke implementatie voor iOS:

```
actual class ABCMethods actual constructor() {  
    actual fun callA(): String {  
        return "Calling A from iOS"  
    }  
  
    actual fun callB(): String {  
        return "Calling B from iOS"  
    }  
  
    actual fun callC(): String {  
        return "Calling C from iOS"  
    }  
}
```

Een mogelijke implementatie voor Android:

```
actual class ABCMethods actual constructor() {  
    actual fun callA(): String {  
        return "Calling A from Android"  
    }  
}
```

```
    }

    actual fun callB(): String {
        return "Calling B from Android"
    }

    actual fun callC(): String {
        return "Calling C from Android"
    }
}
```

Door gebruik te maken van Kotlin Native is het niet nodig om zelf aan te geven welk bestand de compiler moet gebruiken voor welk platform. De compiler zal detecteren welk platform er gebruikt wordt en het juiste bestand gebruiken.

4.5 Gemeenschappelijke klassen

Naast de expect en actual klassen, die ervoor zorgen dat we platformspecifieke code kunnen schrijven, kunnen we ook klassen voorzien die voor alle platform hetzelfde zijn. Deze klasse zal dus voor ieder platform hetzelfde zijn.

```
class Example {
    private var name: String

    constructor() {
        this.name = "Ilias"
    }

    fun helloKotlin(): String {
        return "Hello Kotlin Native , from $name"
    }
}
```

4.6 Code gebruiken

Maar hoe kunnen we nu gebruik maken van de gemeenschappelijke en platformspecifieke code? Simpel. Bij een Android project kunnen we de Kotlin code gebruiken door simpelweg de bibliotheek te importeren. Dit is niks meer dan een import bovenaan in je Android activity. iOS gerelateerde code zal gedeeld worden als een iOS framework dat gegenereerd wordt door Kotlin Native. Dit framework zal toegevoegd worden in de build phases van het xcode project.

4.7 Een Kotlin Native project

4.8 De werking van Kotlin Native

4.8.1 Graphical user interface

4.8.2 Back-end

4.8.3 Business logic

4.9 Huidige mogelijkheden

4.10 Beperkingen

4.11 Toekomst

4.12 Besluit

5. Standalone iOS project

lorem ipsum

6. 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

Maar wat betekent nu cross-platform? Met cross-platform bedoelt men een systeem/software dat op verschillende platformen en/of besturingssystemen kan draaien. Er zijn al heel wat cross-platform frameworks op de markt. Denk maar aan Xamarin, React Native, Angular in combinatie met het Ionic framework. Momenteel is JetBrains bezig met het ontwikkelen van Kotlin Native waarmee het zou mogelijk zijn om zowel voor web, dekstop als voor mobile (Android, iOS) te ontwikkelen.

Kotlin is voor vele programmeurs nieuw. Sinds dit jaar biedt Google volledige ondersteuning voor het gebruik van Kotlin bij Android applicatieontwikkeling. Maar het gaat nog veel verder. JetBrains, de ontwikkelaars van Kotlin, werkt momenteel aan Kotlin Native, het framework dat moet zorgen voor cross-platform ontwikkeling. Maar Kotlin Native is nog heel jong. De huidige versie is 0.6 en er bestaat nog maar weinig documentatie rond Kotlin Native. Het probleem echter bij dit framework is dus momenteel dat er heel weinig documentatie en programmeurs dus zelf moeten ontdekken hoe alles momenteel werkt. Dit kan via conferences, voorbeeldprojecten of youtube (kanaal van JetBrains). Maar wat zijn nu de mogelijkheden van Kotlin Native? Zijn er beperkingen? Hoe wordt de GUI opgebouwd? Hoe werkt LLVM, de compiler die alle code omzet naar machinetaal die op elk platform en/of besturingssysteem kan draaien en dus zonder het gebruik van de Java Virtual Machine?

A.2 State-of-the-art

Kotlin, de nieuwe programmeertaal. In 2011 voor het eerst aangekondigd door JetBrains. Zes jaar later biedt Google volledige ondersteuning voor Android applicatieontwikkeling. De voorbije jaren was er nog maar weinig bekend rond Kotlin. Er waren zo goed als geen boeken of andere literatuur op de markt. Hier is het laatste jaar verandering in gekomen. Er worden steeds meer en meer boeken gepubliceerd.

Op het internet zijn er reeds enkele reviews, onderzoeken en boeken beschikbaar. Hierin wordt er verteld waarom men juist wel of niet voor Kotlin moet kiezen. Zo vindt je her en der ook wel eens een vergelijkende studie tussen Java en Kotlin, maar meestal zijn deze niet zo sterk uitgewerkt.

Echter is er op het internet een studie beschikbaar (Magnus, 2017), die aangeeft waarom programmeurs Kotlin écht moeten gebruiken. Hieruit blijkt dat Kotlin volledig compatibel zou zijn met Java. Bestaande projecten die geschreven zijn in Java, kunnen dus zonder enig probleem verdergezet worden in Kotlin, dit noemt men de automigration. Bestaande Java frameworks kan men verder gebruiken indien men wenst te programmeren in Kotlin. De taal zou makkelijk te begrijpen zijn voor iedereen die ervaring heeft met OOP (Object-Oriented Programming). Volgens ontwikkelaars die ervaring hebben met Swift 4 zou Kotlin bijna een kopie zijn van Swift 4. Voorbeelden hiervan zijn: geen puntkomma's om de regels af te sluiten en declaratie van variabelen gebeurd op identieke manier.

```
var number: Integer = 5
var text: String = "text"
```

Bovenstaande code toont beide voorbeelden aan.

Een andere studie (AJ, 2016), beschrijft dan de nadelen van Kotlin. Kotlin zou geen gebruik maken van namespaces. De static modifier zou verdwenen zijn, maar een alternatieve manier is dan weer mogelijk via @JvmField. Het compileren van projecten in Android Studio zou veel tijd in beslag nemen en het gebruik van annotations zou nog niet volledig geoptimaliseerd zijn. Zo blijkt dat er toch nog wat werk is aan Kotlin. We zitten dan ook nog maar aan versie 1.2.

Wat betreft het gebruik van Kotlin als cross-platform programmeertaal (DZone, 2015), wordt er sterk gewerkt aan Kotlin Native. Momenteel is dit nog in development, JetBrains zelf biedt reeds enkele projecten aan waar ontwikkelaars met de slag kunnen. Zo geven ze de programmeurs de mogelijkheid om reeds kennis te maken met de werking van Kotlin Native ook al is er nog geen documentatie over dit framework. Er is echter ook een kleine tutorial op de website van JetBrains aanwezig om een simpele applicatie te bouwen die 'Hello World' op het scherm print.

Op het internet zijn er voldoende bronnen te vinden om applicaties te bouwen met Kotlin voor één platform. Dit kan gaan over een webapplicatie die gebruik maakt van het Spring framework, waarbij Spring gebruik maakt van de taalfeatures van Kotlin. Wat Android betreft kan men gewoon in Android Studio een applicatie geschreven in Android converte-

ren naar Kotlin. Tenslotte is er de mogelijkheid om voor een desktopapplicatie, KotlinFX te gebruiken. KotlinFX is een library die dezelfde functionaliteit biedt als JavaFX, een library om interfaces te bouwen.

Zoals te lezen is, is er op het internet voldoende informatie te vinden om applicaties te bouwen voor één platform. Maar is het nu ook mogelijk om via één codebase verschillende platformen aan te spreken? Kan je door het eenmalig schrijven van code, een applicatie ontwikkelen die zowel op Android als op iOS kan draaien? Dit is het grote verschil met mijn onderzoek.

A.3 Methodologie

Vooraleer er aan de slag wordt gegaan met het uittesten van Kotlin Native, of het analyseren van voorbeeldprojecten van JetBrains, is het belangrijk om te onderzoeken hoe het nu komt dat Kotlin Native op verschillende platformen kan draaien. Kotlin is oorspronkelijk, net zoals Java, een programmeertaal die gebruik maakt van de Java Virtual Machine. Het zal daarom dus belangrijk zijn om te onderzoeken waarop Kotlin Native draait, wat de taak is van de LLVM compiler. Dit zal gebeuren aan de hand van een literatuurstudie.

Daarna worden de voorbeeldprojecten van JetBrains, geschreven in Kotlin Native, geanalyseerd om de werking van Kotlin Native te achterhalen. De bedoeling is om te kijken naar bepaalde aspecten. Hoe wordt de user interface opgebouwd, wordt er per platform een UI opgebouwd of is er slechts één UI? Hoe kunnen specifieke native modules gebruikt worden?

Eenmaal de werking van Kotlin Native duidelijk is en voldoende gedocumenteerd is, is het het doel om zelf aan de slag te gaan met Kotlin Native en een kleine cross-platform applicatie te schrijven.

A.4 Verwachte resultaten

Ten eerste wordt verwacht om uit de literatuurstudie te kunnen besluiten wat de werking is van de LLVM compiler. Hierdoor is het duidelijk hoe Kotlin Native er voor zorgt dat Kotlin voor verschillende platformen kan gebruikt worden.

Anderzijds wordt een zeer duidelijke documentatie verwacht over de werking van Kotlin Native zodat mensen die geïnteresseerd zijn om Kotlin Native in de toekomst te gebruiken deze documentatie kunnen gebruiken.

A.5 Verwachte conclusies

Uit dit onderzoek verwacht ik te kunnen concluderen dat Kotlin meer dan geschikt is als cross-platform programmeertaal. Dit aangezien Kotlin volledig ondersteund wordt door Google wat betreft de ontwikkeling van Android applicaties. Er wordt nog steeds verder gebouwd aan Kotlin Native. Maar natuurlijk, Kotlin is een nieuwe taal, waar nog veel aan gesleuteld zal moeten worden. De toekomst ziet er enkel maar veel belovend uit. De kans is groot dat een groot aantal programmeurs zal overschakelen naar deze taal. Kotlin heeft zeker en vast de kracht om programmeurs, die al jaren in dit vak zitten en zich hebben vastgehecht aan een bepaalde programmeertaal, mee te slepen in het Kotlin-avontuur. Ook voor Swift programmeurs zal de aanpassing naar Kotlin niet groot zijn wegens de grote gelijkenissen tussen de twee programmeertalen.

Bibliografie

- AJ, A. (2016). Why you shouldn't switch to Kotlin. <https://medium.com/keepsafe-engineering/kotlin-the-good-the-bad-and-the-ugly-bf5f09b87e6f>.
- Ali Muzaffar. (2017). Building a full-stack web-app in Kotlin. Verkregen van <https://medium.com/bcgdv-engineering/building-a-full-stack-web-app-in-kotlin-af8e8fe1f5dc>
- Andrey Breslav. (2017). Kotlin/Native Tech Preview: Kotlin without a VM. Verkregen van <https://blog.jetbrains.com/kotlin/2017/04/kotlinnative-tech-preview-kotlin-without-a-vm/>
- AppBrain. (2018). Details of Kotlin. Verkregen van <https://www.appbrain.com/stats/libraries/details/kotlin/kotlin>
- Avantica. (2017). What is Kotlin and how did we get here. Verkregen van <https://www.avantica.net/blog/what-is-kotlin-and-how-did-we-get-here>
- Chisnall, D. (2008). How the LLVM Compiler Infrastructure Works. Verkregen van <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1215438>
- developer group, L. (2018). LLVM. Verkregen van <https://llvm.org/>
- Developine. (2017). Kotlin Native iOS Development using Multiplatform Project. Verkregen van <http://developine.com/kotlin-native-ios-development-multiplatform-project/>
- Dmitry Jemerov. (2017). Kotlin 1.2 Released: Sharing Code between Platforms. Verkregen van <https://blog.jetbrains.com/kotlin/2017/11/kotlin-1-2-released/>
- DZone. (2015). Kotlin and cross-platform. <https://dzone.com/articles/kotlin-for-cross-platform-mobile-app-development>.
- Global mobile OS market share in sales to end users from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2017. (2018). *Statista*. Verkregen van <https://www.statista.com/statistics/266136/global-market-share-held-by-smartphone-operating-systems/>
- JetBrains. (2017a). Kotlin for server-side development. <https://kotlinlang.org/docs/reference/server-overview.html>.

- JetBrains. (2017b). Kotlin official website FAQ. <https://kotlinlang.org/docs/reference/faq.html>.
- JetBrains. (2017c). Kotlin official website, Kotlin Native. <https://kotlinlang.org/docs/reference/native-overview.html>.
- JetBrains. (2018a). Kotlin - Creating Web Applications with Http Servlets. Verkregen van <https://kotlinlang.org/docs/tutorials/httpservlets.html>
- JetBrains. (2018b). Using Kotlin for Server-side Development. Verkregen van <https://kotlinlang.org/docs/reference/server-overview.html>
- Lattner, C. (g.d.). The architecture of Open Source Applications. Verkregen van <http://www.aosabook.org/en/llvm.html>
- Magnus, V. (2017). Switch to Kotlin. <https://medium.com/@magnus.chatt/why-you-should-totally-switch-to-kotlin-c7bbde9e10d5>.
- Why JetBrains needs Kotlin. (2011). *JetBrains*. Verkregen van <https://blog.jetbrains.com/kotlin/2011/08/why-jetbrains-needs-kotlin/>