

The ISP Course Selection Puzzle

Herbert Gorissen

Thesis voorgedragen tot het behalen
van de graad van Master of Science
in de ingenieurswetenschappen:
computerwetenschappen, eg

Promotor:

Prof. Gerda Janssens

Begeleider:

Matthias van der Hallen

© Copyright KU Leuven

Without written permission of the thesis supervisor and the author it is forbidden to reproduce or adapt in any form or by any means any part of this publication. Requests for obtaining the right to reproduce or utilize parts of this publication should be addressed to the Departement Computerwetenschappen, Celestijnenlaan 200A bus 2402, B-3001 Heverlee, +32-16-327700 or by email info@cs.kuleuven.be.

A written permission of the thesis supervisor is also required to use the methods, products, schematics and programs described in this work for industrial or commercial use, and for submitting this publication in scientific contests.

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor als de auteur is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen tot of informatie i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, wend u tot het Departement Computerwetenschappen, Celestijnenlaan 200A bus 2402, B-3001 Heverlee, +32-16-327700 of via e-mail info@cs.kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Preface

Herbert Gorissen

Contents

Preface	i
Abstract	iii
List of Figures and Tables	iv
List of Abbreviations and Symbols	v
1 Introduction	1
1.1 amilhastre	4
1.2 Probleemstelling	5
1.3 Doel	6
1.4 Dependencies	7
2 Related Work	9
3 Implementation	11
3.1 Constructie ISP Theory	11
3.2 Features	14
3.3 Conflict Explanation	18
3.4 Front-End	24
4 Evaluation	27
5 Conclusion	33
6 Future Work	35
Bibliography	37

Abstract

Bij de start van een opleiding aan de K.U. Leuven is iedere toekomstige student verplicht zijn of haar opleiding samen te stellen uit een hele waaier aan opleidingsonderdelen. De selectie van opleidingsonderdelen is echter onderworpen aan een set van regels die allemaal voldaan moeten zijn wil men een geldig individueel studieprogramma (ISP) bekomen. We kunnen dit scenario onderbrengen in een specifieke verzameling van problemen, namelijk interactieve configuratieproblemen. Een gebruiker, in dit geval de student is verantwoordelijk voor het kiezen van waarden uit het domein voor de verschillende variabelen. Het systeem is tegelijk verantwoordelijk voor de ondersteuning van de gebruiker gedurende dit proces, zodanig dat de selectie uiteindelijk een geldige oplossing vormt volgens de regels van het probleem.

In dit onderzoek hebben we gekozen voor IDP, een kennis representatie systeem ontwikkeld aan de K.U. Leuven dat toelaat domein specifieke kennis uit te drukken d.m.v. $FO(\cdot)$ in wat de *theorie* van het probleem genoemd wordt. Met deze kennis kan het bijhorende IDP systeem verscheidene vormen van inferentie toepassen op de theorie. Met inferentie wordt bedoeld vragen over het probleem oplossen. Door deze opsplitsing is de vorm van inferentie niet langer gebonden aan het systeem. IDP is in staat om verschillende soorten vragen over het probleem te beantwoorden zonder dat de kennis erover herschreven moet worden.

Sinds het ontstaan van IDP zijn er reeds verschillende onderzoeken gedaan naar de prestaties van IDP op grote problemen Van Hertum Pieter et al. (2016) Vlaeminck et al. (2009). De resultaten hiervan zijn positief, en onderzoek zal moeten uitwijzen of dit voor het ISP probleem ook het geval is.

Er bestaat al een web applicatie die de studenten bijstaat tijdens het selectieproces van hun opleidingsonderdelen. Door gebruik te maken van de verschillende vormen van inferentie uit het IDP systeem, ben ik ervan overtuigd een applicatie te kunnen ontwikkelen die betere ondersteuning kan bieden en meer mogelijkheden heeft.

Naast dit alles heeft deze thesis nog een andere grote doelstelling. Sinds een gebruiker verantwoordelijk is voor de selectie van waarden uit het domein, is het mogelijk dat deze combinaties van keuzes nooit een geldige oplossing kunnen zijn volgens de regels. Conflict Explanation is een sub-domein binnen interactive configuration waar de focus ligt op het proberen verklaring van deze ongeldige selecties oftewel conflicten. En het is mijn doel om de mogelijkheden van hieromtrent IDP te testen en daarnaast op zoek te gaan naar andere methoden die aan IDP kunnen bijdragen.

List of Figures and Tables

List of Figures

3.1	Het selectie venster van de grafische interface	25
-----	---	----

List of Tables

3.1	Tabel van oplossingen	23
4.1	Functionaliteiten	28
4.2	IDP vs IDP+FSA	32

List of Abbreviations and Symbols

Abbreviations

LoG	Laplacian-of-Gaussian
MSE	Mean Square error
PSNR	Peak Signal-to-Noise ratio

Symbols

42	“The Answer to the Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything” according to
c	Speed of light
E	Energy
m	Mass
π	The number pi

Chapter 1

Introduction

1.0.1 Constraint Satisfaction Problems

CSP's zijn problemen waar voor een reeks variabelen een geldige waarde uit het domein dient toegekend te worden. De toekenning echter is gebonden aan een set van regels waaraan de variabelen moeten voldoen. Formeel definiëren we een CSP als een triple $\langle \mathcal{X}, \mathcal{D}, \mathcal{C} \rangle$, met \mathcal{X} de verzameling van variabelen, \mathcal{D} de domeinwaarden voor deze variabelen en \mathcal{C} de constraints over de variabelen. Typisch worden dit soort problemen opgelost d.m.v. zoeken door alle mogelijk combinaties, deze recursieve methode gaat voor elke nieuwe toekenning na of de constraints voor de partiële toekenning consistent zijn. Zo ja, dan volgt er een nieuwe recursieve oproep, anders gaat het algoritme backtracken. Het oplossen van CSP's met een eindig domein behoort tot de klasse van NP-complete problemen en de berekeningen zijn vaak van hoge complexiteit met betrekking tot de grootte van het domein. Om het zoekproces proberen te versnellen bestaan er variaties op backtracking zoals backmarking en backjumping. De eerste zorgt voor een efficiëntere manier om consistentie na te gaan en backjumping is een betere manier van backtracking waarbij men over meerdere waarden tegelijk kan backtracken. Deze technieken versnellen het zoekproces in dat ze onnodige stappen detecteren en overslaan. Anderzijds bestaan er propagatie technieken die lokale consistentie garanderen met technieken zoals arc consistency, hyper-arc consistency en path-consistency die de domeinen van de variabelen proberen te verkleinen alvorens het zoekproces gestart wordt.

1.0.2 Interactive Configuration Problems

In deze thesis ligt de focus op een specifieke groep van problemen binnen het domein van CSP's genaamd Interactieve Configuratieproblemen (IC). Constraint Satisfaction Problems zijn problemen waar een toekenning van domeinwaarden voor de variabelen dient gevonden te worden waarvoor geldt dat aan alle constraints voldaan is. IC problemen hebben hetzelfde doel, maar bij CSP's wordt er naar een toekenning gezocht d.m.v. recursieve zoektechnieken terwijl het in het geval van IC problemen een gebruiker is die handmatig stap per stap een geldige toekenning gaat proberen samenstellen. Om de gebruiker hierin bij te staan is er nood aan software die de

gebruiker zo goed mogelijk bijstaat gedurende dit hele proces. Uit ervaring is gebleken dat het schrijven van software voor dit soort problemen geen gemakkelijke opgave is. Zo is aangetoond dat een imperatieve aanpak voor het beschrijven van de regels van een probleem vaak moeilijk is (Gelle and Weigel, 1996). Reden hiervoor is dat de regels over de betreffende domeinkennis vaak verspreid zit in de software in codesnippets. Daarbij is onderhoud van zulke software een enorm moeilijke opgave waarbij de kleinste wijziging in de constraints kan leiden tot een volledige herwerking van de code. Een alternatief hiervoor is een declaratieve aanpak. In declaratieve toepassingen kunnen de regels van een probleem beschreven worden d.m.v. logische constraints. Gelle and Weigel (1996) laten niet alleen zien dat de declaratieve beschrijving van een probleem overzichtelijker en duidelijker is maar ook dat een wijziging in de constraints gemakkelijk aangepast kan worden. En hoewel er met een imperatieve aanpak meer optimale algoritmen ontwikkeld kunnen worden, is aangetoond dat declaratieve methoden ook goede prestaties kunnen neerzetten.

Het werk van (Vlaeminck et al., 2009) legt gelijkaardige argumenten voor. De paper verwijst naar een voorbeeld (Tax on web) waarbij een imperatieve aanpak inderdaad nadelig bleek te zijn. Het werk stelt een declaratieve aanpak voor voor het beschrijven van de regels van een probleem en inferentie om vragen erover op te lossen. Opnieuw met dezelfde resultaten namelijk een veel efficiëntere manier van beschrijven in een overzichtelijke set van logische regels, en ondanks een declaratieve aanpak toch (voor het gekozen probleem) een goede reactietijd van de inferentie methoden.

1.0.3 Het IDP Systeem

Er zijn ondertussen vele declaratieve systemen verschenen (Prolog, Ant, Lisp, ...). Wat opvalt is dat elk systeem vaak gebonden is aan één enkele specifieke vorm van inferentie. Afhankelijk van de gewenste inferentie zal een probleem dus opnieuw moeten beschreven worden in een ander systeem waarmee deze vorm van inferentie wel mogelijk is, ondanks het feit dat de kennis telkens dezelfde is. Deze gedachtegang ligt aan de basis van het concept van het Kennisbank paradigma (Denecker and Vennekens, 2008). In het KB-paradigma wordt gesteld dat de inferentie los staat van de kennis over een probleem. Deze kennis is niets meer dan een verzameling van informatie, maar met deze informatie kunnen meerdere vormen van inferentie toegepast worden. In dit onderzoek ligt de aandacht op IDP, een KB-systeem ontwikkeld aan de K.U. Leuven en voor het eerst voorgesteld in 2008. Het laat toe om de kennis over een probleem te beschrijven in $FO(\cdot)$, dit is eerste orde logica maar uitgebreid met aggregaten, type definities en inductieve definities.

In (Wittocx et al., 2008) wordt de vergelijking gemaakt tussen IDP en ASP solvers. ASP oftewel Answer Set Programming is een populaire techniek voor het berekening van oplossingen (model expansie) voor een logisch probleem. Verscheidene systemen waaronder het bekende *Clasp* zijn een implementatie van het ASP paradigma. IDP zelf maakt gebruik van een combinatie van ASP en SAT. In de paper tonen de auteurs het resultaat van een vergelijkende studie tussen verschillende model expansie systemen op een verzameling van problemen. Let hoe de focus enkel ligt op model expansie en

niet op de andere vormen van inferentie die ook mogelijk zijn met IDP. De resultaten tonen dat IDP naast alle andere solvers ook goede prestaties behaalt. Bovenop deze cijfers wordt ook nog eens benadrukt dat de rijke en elegante taal die IDP gebruikt voor het beschrijven van problemen wellicht het belangrijkste onderdeel is van het systeem. Het gebruik van eerste orde logica uitgebreid met aggregaten, types, inductieve definities, partiële functies, rekenkundige bewerkingen enz. maakt het beschrijven van problemen veel makkelijker. En hoewel de klasse van problemen die het kan beschrijven niet groter wordt, is het mogelijk dat de klasse van problemen die opgelost kunnen worden wel groter wordt (vb. reachability problemen).

De solver van het IDP systeem is de MiniSAT(ID) solver. (De Cat et al., 2014b) is een vergelijkende studie tussen MiniSAT(ID) en Gringo-Clasp. De laatste was de winnaar van de ASP wedstrijd in 2013 voor de categorie Model-and-Solve waar IDP als vierde eindigde. Voor sommige van de problemen werd IDP echter gediskwalificeerd door problemen met het modelleren. Daarom hebben de auteurs het IDP opnieuw getest tegen de problemen van de wedstrijd en de resultaten vergeleken met die van Gringo-Clasp. De uitkomst tonen dat Gringo-Clasp meer instanties van de problemen heeft kunnen oplossen dan IDP en hier vaak ook minder tijd voor nodig had. Maar dit is volgens de auteurs te wijten aan de manier waarop de problemen gemodelleerd zijn. In IDP zijn modellen vaak simpel en minder fine-tuned dan bij Gringo-Clasp. Daar bestaan ze vaker uit veel meer regels en bevatten sommige modellen zelfs complexe optimalisatie regels voor bijvoorbeeld symmetry breaking. Voor problemen waar de modellen gelijkwaardig zijn liggen de resultaten zeer dicht bij elkaar.

Deze vergelijkende studies zijn niet de enigste positieve bewijzen van de kracht en voordelen van IDP. Het werk van (Vlaeminck et al., 2009) wijst net zoals Gelle and Weigel (1996) op de voordelen van een declaratieve aanpak. Maar deze resultaten zijn te wijten aan het gebruik van IDP. Wellicht de meest interessante case study is die van (Van Hertum Pieter et al., 2016) waar de auteurs een interactief configuratieprobleem van aanzienlijke schaal voor het consultancy bedrijf Active Planet beschrijven en oplossen met behulp van IDP. Opnieuw zijn de resultaten bevestigend en positief. Vennekens evalueert het resultaat op negen criteria voorgesteld in het boek van (Felfernig et al., 2014). Deze zijn bedoeld om een beter beeld te geven van de prestaties van een configuratiesysteem.

Graphical Modeling Concepts (C1) Aanwezig als het systeem de mogelijkheid biedt om kennis over het domein te visualiseren met behulp van grafische technieken.

Component Oriented Modeling (C2) De taal waarmee de regels beschreven worden laat modellering toe van types, relaties, hiërarchie etc.

Automated Consistency Maintenance (C3) Is opgedeeld in twee categorieën, de eerste categorie is a priori consistency maintenance, oftewel controle op consistentie gedurende de ontwikkeling van de kennisbank. Vervolgens is er runtime consistency maintenance, waarbij de gebruiker ondersteund wordt gedurende het selectieproces door te garanderen dat in elke stap van het proces de selectie satisfieerbaar is.

Modularization concepts are available (C4) De taal is modulair in de zin dat constraints georganiseerd kunnen worden individuele blokken of groepen.

Maintainability (C5) De kennisbank kan gemakkelijk overweg met veranderingen in de regels, m.a.w. het bijwerken van de regels kost weinig moeite.

Model-based (C6) De kennisbank drukt exact datgene uit dat nodig is voor een correcte configuratie. Niet zoals rule-based systemen, waarbij de regels pas vuren onder bepaalde voorwaarden die ook nog beschreven moeten worden.

Efficiency (C7) Houdt verband met de efficiëntie en schaalbaarheid van de solver.

Ability to solve generative problem settings (C8) De theorie is in staat om regels te beschrijven over een type component i.p.v. specifieke objecten.

Ability to provide explanations (C9) Het systeem kan verklaringen bieden voor foute selecties en uitleggen waarom bepaalde keuzes verboden of verplicht zijn.

De score op deze criteria wordt vergeleken met die van tien andere bekende systemen, en toont duidelijk dat IDP als één van de beste systemen uit de bus komt, waarbij het aan de meeste criteria voldoet. IDP voldoet niet aan (C1), maar volgens Venekens maken de expressiviteit en leesbaarheid van de taal een grafische modellering van de kennis overbodig. A priori consistency maintenance (C3) is ondersteund, runtime consistency maintenance daarentegen is in theorie ondersteund maar door computationele beperkingen is het gebruik van benaderingen aangeraden hoewel deze niet dezelfde garanties hebben. Efficiëntie (C7) is een moeilijk te meten factor, aangezien er geen standaard benchmark tests bestaan die hier uitsluitsel over kunnen geven. Voor het testprobleem van het onderzoek bleek de reactietijd weliswaar goed. En voorgaande tests in andere onderzoeken bevestigen prestaties gelijkaardig aan die van ASP solvers. Bovenop hun bevindingen wordt ook de opmerking gemaakt dat deze andere systemen specifiek rond één vorm van inferentie werken, terwijl IDP speciaal ontwikkeld is om meerdere vormen van inferentie toe te kunnen passen zonder het te moeten herschrijven van de kennis.

1.1 amilhastre

/*TITEL*/ In de klasse van interactieve configuratieproblemen is het belangrijk dat de reactietijd van de inferentie technieken laag ligt. Het probleem is echter dat IC problemen net zoals CSP's enorm complex zijn, wat maakt de sommige inferentie technieken intractable (onhandelbaar) zijn in het slechtste geval. (Vempaty, 1992) stelt in zijn werk voor om Constraint Satisfaction Problems voor te stellen door geminimaliseerde deterministische eindige toestandsautomaten (MDFA), een compactere weergave van de oplossingsverzameling. En stelt dat eens ze gebouwd zijn, inferentie taken zoals het controleren van satisfieerbaarheid, model expansie en query checking triviaal worden. (Amilhastre et al., 2002) bouwt verder op hetzelfde principe en kiest opnieuw voor het gebruik van MDFA's, maar dan in

de context van interactieve configuratieproblemen. Door gebruik te maken van de automaat stelt Amilhastre dat niet enkel de inferentie taken uit Vempaty's werk voor CSP's computationeel haalbaar worden, maar dit ook uitgebreid kan worden tot bepaalde inferentie taken binnen het domein van IC problemen. Dit is natuurlijk een groot voordeel in een klasse van problemen waar de reactietijd van de bewerkingen laag moet liggen. De complexiteit van de bewerkingen worden verschoven naar een a priori compilatie fase, die slechts éénmaal uitgevoerd hoeft te worden. Eens de automaat gebouwd is kan ze op eender welk moment gebruikt worden om at runtime, en garandeert ze een aanzienlijke verlaging van de complexiteit van bepaalde inferentie taken namelijk controleren op satisfieerbaarheid, het zoeken naar minimale oplossingen (in geval van een niet-satisfieerbare selectie) en het voorzien van restauraties.

1.2 Probleemstelling

1.2.1 Individueel Studieprogramma

Een ISP samenstellen valt onder de categorie van Interactieve Configuratieproblemen. De gebruiker, in dit geval een toekomstige student, wil een geldig ISP bekomen d.m.v. het selecteren van mogelijke opleidingsonderdelen (vakken) voor de door hem/haar gekozen opleiding. Maar de student kan niet zomaar elk opleidingsonderdeel selecteren, er zijn een heleboel regels waaraan de selectie moet voldoen. Deze regels zijn op zichzelf duidelijk en intuïtief, maar een selectie vinden die aan alle regels voldoet kan mogelijk verwarrend zijn. Het huidige systeem, een web applicatie op de website van de universiteit voorziet wel enige ondersteuning gedurende het selectieproces. De student kan simpelweg vakken selecteren door in vinkje te zetten in de checkbox dat bij een bepaald vak hoort, deze selectie kan ongedaan gemaakt worden door dit vinkje weer weg te klikken. Wanneer de student tevreden is met de selectie, kan hij/zij diens keuze bevestigen en het systeem zal dan controleren of de selectie voldoet aan de regels van het ISP. Is dit niet het geval dan wordt de student hiervan op de hoogte gebracht en wordt er uitleg (verklaring in natuurlijke taal) voorzien waarom ze niet klopt. Dit niveau van ondersteuning is op zich voldoende en iedere student zal uiteindelijk in staat zijn een geldig ISP samen te stellen. En een vraag die hierbij gesteld kan worden is of met behulp van IDP dezelfde als niet betere ondersteuning aangeboden kan worden.

1.2.2 Conflict Explanation

In een interactief configuratieprobleem is een gebruiker verantwoordelijk voor de toekenning van de waarden aan de variabelen, en het is goed mogelijk dat deze keuzes niet voldoen aan de regels van het probleem. Sinds het de verantwoordelijkheid is van het systeem om de gebruiker ondersteuning te bieden, moet het deze conflicten kunnen detecteren en aan de gebruiker kunnen duidelijk maken wat er precies mis is zodanig dat er een oplossing gevonden kan worden. Hier komt nog eens bij dat IC problemen een snelle reactietijd vereisen, de gebruiker mag niet meer dan een paar

seconden wachten op een antwoord. Het IDP systeem voorziet twee technieken voor het opsporen en verklaren van niet-satisfieerbaarheid namelijk de unsatstructure en de unsattheory. De unsatstructure gaat op zoek naar een precisie minimale subset uit de structuur die waarvoor nooit een consistent model gevonden kan worden. Dit is natuurlijk een grote hulp omdat het de gebruiker heel wat zoekwerk bespaart. De methode biedt echter geen oplossingen, het wijst enkel de plaats van het probleem aan. De unsattheory zal daarentegen zoeken naar een minimale set van regels die gegeven de structuur nooit allemaal waar gemaakt kunnen worden. Op zicht vormen deze regels een goede verklaring, maar de formulering ervan is in $FO(\cdot)$. En ondanks de goede leesbaarheid zal een doorsnee gebruiker zonder achtergrond in computerwetenschappen hier niets uit kunnen afleiden. Er moet dus een ander formaat bestaan dat door het systeem gegeven kan worden dat de gebruiker wel kan begrijpen.

1.3 Doel

In deze thesis wil ik onderzoeken of de regels van het ISP efficiënt kunnen beschreven worden in $FO(\cdot)$. De regels zijn voor elke opleiding anders. De vraag is of het mogelijk is om met één enkele theorie in IDP meerdere opleidingen correct te kunnen beschrijven. Belangrijk hierbij is dat de domeinen evenals de regels sterk kunnen verschillen tussen opleidingen, en dat de eventuele theorie hier mee om moet kunnen gaan.

Het systeem van de K.U. Leuven biedt de ondersteuning nodig om een geldig ISP te kunnen samenstellen. Een interessante vraag is of een applicatie gebaseerd op IDP dezelfde als niet betere ondersteuning kan bieden. In een zelf ontworpen Front-end met grafische user interface wil ik de volgende functionaliteiten integreren:

Automatisch invullen van gevolgen Als de student een vak A kiest en hieruit volgt dat vak B ook gevolgd moet worden, dan is het de bedoeling dat het systeem dit automatisch invult zodat de student zich hier verder niets van hoeft aan te trekken.

Detectie van foutieve selectie Deze functionaliteit is momenteel al aanwezig in het huidige systeem. Maar de detectie gebeurt pas bij de bevestiging van de selectie i.p.v. op het moment van de selectie zelf. En dat is wat ik zal proberen te integreren in de nieuwe front-end. En niet enkel dit, maar ook het effectief opsporen van de oorzaak zodat de gebruiker dit kan aanpassen.

Geldig ISP laten genereren Stel dat een student keuzes heeft gemaakt omtrent de vakken die hij/zij echt wil of niet wil volgen, maar de selectie is nog geen volledige oplossing. Dan kan de student vragen aan het systeem om de selectie verder in te vullen.

Optimaal ISP laten genereren Niet alleen moet het systeem een geldige oplossing kunnen genereren, maar ook de beste oplossing volgens een bepaald cri-

terium. Zo zou een student bijvoorbeeld graag een ISP willen waarbij de werklust zo goed mogelijk verdeeld is over beide semester.

Ongedaan maken van acties Deze functionaliteit is terug te vinden in zowat de meeste moderne systemen. Als een student ontevreden is over zijn/haar recente keuzes, moet er de mogelijkheid zijn om deze ongedaan te kunnen maken.

Weergave van het lessenrooster Zoals voorheen vermeld hebben studenten geen duidelijk overzicht van het lessenrooster dat voortvloeit uit hun keuzes. Vakken kunnen lesmomenten hebben die mogelijk overlappen met die van andere vakken en dit kan voor een ongewenste verrassing zorgen eens het ISP bevestigd is. Het is mijn bedoeling om in de nieuwe front-end wel een eventueel lessenrooster weer te geven.

De meeste van deze functionaliteiten steunen op inferentie technieken die IDP aanbiedt zoals model expansie, minimalisatie, propagatie etc.. Dit wil zeggen dat om deze functionaliteiten te kunnen aanbieden, de onderliggende inferentie technieken efficiënt moeten werken. Herinner dat we te maken hebben met een IC probleem en dit vereist dat de reactietijd niet meer dan enkele seconden bedraagt. Onderzoek zal dus moeten uitwijzen of inferentie snel verloopt voor dit probleem.

Naast het testen van de mogelijkheden van IDP voor het ISP probleem, heeft deze thesis nog een andere doel. De notie van conflict explanation werd reeds aangehaald samen met de technieken die IDP momenteel voorziet en hun voor- en nadelen. Een interessante toevoeging is de techniek van Reified Constraints, een techniek gelijkaardig aan de unsattheorie. Het zoekt ook naar een minimale set van regels die nooit samen waar kunnen zijn gegeven de structuur, maar i.p.v. de regels uit te drukken in $FO(\cdot)$ is de output een verklaring in natuurlijke taal. Bovendien is de implementatie van deze techniek volledig mogelijk op basis van de functionaliteiten binnen IDP. Onderzoek zal moeten uitwijzen hoe goed deze implementatie werkt voor het ISP probleem, m.a.w. hoe duidelijk de verklaringen zijn en hoe nuttig deze zijn voor de gebruiker. Naast verklaringen in natuurlijke taal, is een interessante vorm van conflict explanation het kunnen geven van oplossingen. Met oplossingen wordt bedoeld minimale subsets uit de huidige selectie die ongedaan gemaakt dienen te worden zodanig dat de selectie terug uitgebreid kan worden tot een geldig model. Deze techniek is niet aanwezig in IDP, maar het werk van (Amilhastre et al., 2002) maakt gebruik van een eindige toestandsautomaat waarmee dit wel kan. Als het mogelijk is om de theorie in IDP te kunnen omzetten naar zo'n automaat, zou IDP dus ook kunnen genieten van alle mogelijkheden die het gebruik ervan met zich meebrengt.

1.4 Dependencies

*/*HERSCHRIJVEN*/*

$FO(\cdot)$ Het is de bedoeling om de mogelijkheden van IDP in actie te zien en met een proof of concept de prestaties van het systeem te testen. $FO(\cdot)$ bezit een grote

uitdrukkingskracht, bovenop eerste order logica bevat het ook taalelementen zoals aggregaten (sum, avg, min, max, ..) en inductieve definities.

Kivy Bij de keuze van de programmeertaal en framework viel mijn oog op Kivy. Dit is een Python library met een hele waaier aan grafische elementen die elk uitgebreid geconfigureerd kunnen worden. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van een door de uitgever ontwikkelde kv-language. Kivy applicaties werken cross-platform en de applicaties zijn event-driven gebruik makend van een centrale loop.

JSON Het gegevensformaat van JSON is ideaal om de domeinen van verschillende opleidingen in weer te geven. De domeinwaarden zitten gekoppeld aan een attribuut, dit maakt het gemakkelijk om structuur te parsen en zo het domein voor iedereen opleiding in te lezen.

Java De eindige toestandsautomaat uit de paper van (Amilhastre et al., 2002) is gebouwd in java, hierbij maak ik gebruik van de 'brics' automaton library. Deze library is simpel in gebruik en biedt handige tools die essentieel zijn voor de bouw van de automaat zoals FSA minimalisatie.

Chapter 2

Related Work

Het IDP systeem is reeds beschreven in verscheidene papers die de motivatie, opbouw en werking gedetailleerd uitleggen. Aan de basis liggen vooral de werken van (De Cat et al., 2014a) en (De Cat, 2014). Beide papers vormen een basis en een introductie voor iedereen die zich wenst te verdiepen in IDP. Ze beschrijven de onderdelen van $FO(\cdot)$ en hoe deze kunnen gebruikt worden om de regels van een probleem uit te drukken en hoe deze regels tenslotte gebruikt kunnen worden om meerdere vormen van inferentie te doen.

Lowering the learning curve for declarative programming: a Python API for the IDP system Vennekens (2015) Nog te vaak zijn programmeurs terughoudend als het aankomt op declaratief programmeren omwille van de leercurve die ermee gepaard gaat. Het doel van de auteur is om de moeilijkheidsgraad te verlagen in de hoop dat het de stap naar declaratieve systemen vergemakkelijkt. De auteur probeert dit te bereiken door een IDP KB-systeem te integreren in een Python API. Python is één van de meest gebruikte programmeertalen, en dankzij de API kan iedereen vertrouwd met Python gebruik maken van het IDP KB-systeem zonder de syntax te moeten leren. Doch zijn declaratieve systemen inherent verschillend van imperatieve systemen, en iedereen die geen opleiding omtrent declaratieve systemen heeft genoten zal dit dan toch nog moeten inhalen. Bij studenten Computerwetenschappen is dit echter wel het geval aangezien het standaard onderdeel is van de opleiding. En de auteur hoopt met de API dat studenten sneller de stap zullen maken naar IDP, door ze de mogelijkheid te geven om dit te doen in de vaak vertrouwde Python omgeving.

Conflict Explanation binnen het domein van interactieve configuratie is een breed concept, en de technieken van IDP of die uit (Amilhastre et al., 2002) zijn niet de enigste die gepubliceerd zijn. In (O’callaghan et al., 2005) wordt het concept van *corrective explanations* voorgesteld. Oplossingen tot nu toe werden altijd gezien als de minimale set van variabelen waarvoor de geselecteerde waarde uit het domein ongedaan gemaakt dient te worden, zodanig dat de resterende selectie terug uitgebreid kan worden tot een geldig model. Een Corrective explanation is redelijk gelijkaardig, het is nog altijd een minimale set van variabelen, maar in plaats van enkel te zeggen

2. RELATED WORK

dat de keuzes voor deze variabelen ongedaan moet worden gemaakt is er een waarde uit het domein gegeven van de variabelen waarvoor geldt dat ze deel uitmaakt van een geldige selectie. De paper stelt CORRECTIVEEXP voor, een systematisch algoritme voor het zoeken van minimal corrective explanations. Een vergelijkende studie met reeds bestaande technieken op verscheidene grote problemen toont aan dat het algoritme zeer goede resultaten boekt in de zin dat het snel oplossingen kan vinden. Dit is uiteraard essentieel aangezien dat interactieve configuratie problemen een snelle reactietijd vereisen.

/*ANDERE STUDIES BESCHRIJVEN*/

Chapter 3

Implementation

3.0.1 Preliminaries

De kennis over het ISP staat beschreven in een theorie T over een vocabularium Σ . Dit vocabularium bestaat uit een set Σ_p van predicaatsymbolen en een set van functiesymbolen Σ_f . Een interpretatie I bestaat uit D de verzameling domeinelementen, een mapping van elk functiesymbool f/n naar een functie met ariteit n op D en een mapping van elk predicaatsymbool P/n naar een relatie $R \subseteq D^n$. Een three-valued partiële interpretatie bestaat uit een mapping op drie waarheidswaarden u, t, f respectievelijk onbekend, waar en niet waar. De waarheidswaarden zijn partieel geordend volgens precisie, $u \leq_p f$ en $u \leq_p t$. De bedoeling is om een exacte interpretatie te bekomen met maximale precisie die consistent is met de theorie T .

3.1 Constructie ISP Theory

Analyse van het ISP Alvorens te beginnen aan het opstellen van een theorie in IDP, is het belangrijk om de regels en structuren van het ISP te bestuderen. Het doel is om een theorie te ontwikkelen die zo algemeen mogelijk is, zodanig dat ze in staat is om een correcte interpretatie te beschrijven voor verschillende opleidingen. En het vinden van structuren, patronen, regels en types die vaak (of altijd) terugkomen, kan in grote mate bijdragen aan zo'n goede theorie. Omdat het onderwijsaanbod aan de K.U. Leuven zodanig groot is, heb ik mijn analyse beperkt tot een kleine groep opleidingen binnen de faculteit Wetenschappen en Ingenieurswetenschappen. Wat meteen opvalt is dat bepaalde types van elementen telkens voorkomen namelijk vakken (meer specifiek de vakcode), studiepunten, fases en semesters. Vakken maken altijd deel uit van een groep, en voor verschillende groepen gelden vaak andere regels. Zulke groepen of anders genoemd *vakgroepen* zijn onderverdeeld in een bepaald type van vakgroep. (elke groep behoort tot één uniek type) en afhankelijk van het type kunnen er mogelijk nog extra constraints gelden voor een Vakgroep. Deze types die steeds terugkomen in meerdere opleidingen hebben ongeacht de opleiding waar ze in voorkomen dezelfde regels die ermee gepaard gaan. Zo is elke opleiding op zich een vakgroep van het type opleiding, het bevat vakken die je verplicht bent te volgen en keuzevakken. Het heeft een minimum (en

maximum) aantal studiepunten dat de student verplicht moet opnemen. Een ander belangrijk type vakgroep is de (hoofd)specialisatie, verscheidene opleidingen geven de keuze tussen meerdere specialisaties. Verwacht wordt dat je van minstens één zo'n specialisatie alle verplichte vakken opneemt. Naast hoofdspecialisatie bestaat er ook het type verdere specialisatie, waarin de student verplicht wordt een bepaald aantal studiepunten op te nemen aan vakken uit deze of bepaalde andere vakgroepen. Vervolgens is er het type 'Algemeen vormende en onderzoeksondersteunende groep' vakgroep, dit is veruit het moeilijkste type groep om te beschrijven. De student moet opnieuw een bepaald aantal studiepunten aan vakken opnemen uit deze groep. Maar daarnaast gelden er ook specifieke regels voor verscheidene vakken die deel uitmaken ervan. En als laatste is er het type 'Bachelor verbredend pakket', waarin studenten die beginnen aan hun masteropleiding vakken moeten opnemen die ontbraken in hun bacheloropleiding. Deze types zien we het vaakst voorkomen en kunnen ongeacht de opleiding met dezelfde set van regels beschreven worden. Het is mogelijk dat sommige types van vakgroepen niet telkens voorkomen, en dus de regels ook niet van kracht zijn. In een bacheloropleiding zal bijvoorbeeld nooit een vakgroep voorkomen van het type Bachelor verbredend pakket. De resultaten van de analyse moeten vervolgens verwerkt worden in een vocabularium dat gebruik maakt van deze types en structuren. Op basis van dat vocabularium hoort dan een theorie ontwikkeld te worden die in staat is een geldige interpretatie voor de verschillende opleidingen te beschrijven.

3.1.1 Vocabularium

Om te beginnen zal ik de structuur dit vocabularium toelichten, hieronder vallen de types, predicaten en functies.

Types

Vak Dit type omvat de verzameling van de verschillende vakken in het domein, elke opleiding bestaat uit verschillende vakken die een gebruiker mogelijk kan selecteren. Meer specifiek zijn dit de unieke vakcodes van een vak. De naam van een vak is namelijk niet altijd uniek in tegenstelling tot de vakcode. De domeinwaarden zijn niet de naam in natuurlijke taal, maar de unieke vakcode.

VakGroep Vakken maken altijd deel uit van een groep, en per Vakgroep gelden vaak unieke regels.

VakGroepType Elke vakgroep maakt deel uit van een bepaald type groep, en per type groep gelden er bepaalde regels bovenop de regels van de individuele groep zelf.

Fase Opleidingen bestaan uit fases oftewel jaren, de Master Computer Wetenschappen bestaat bijvoorbeeld uit 2 fases. Vakken binnen een opleiding kunnen enkel gevolgd worden tijdens de fase van de opleiding waartoe ze behoren.

Semester De K.U. Leuven werkt met een semester systeem, dit wil zeggen dat elke fase (schooljaar) is opgedeeld in twee semesters. Elk vak kan gevolgd worden in de semester waartoe het behoort. Er bestaan ook jaarvakken waarvoor de werklast verdeeld is tussen beide semesters, een voorbeeld hiervan is de Masterproef.

Studiepunten Ieder vak bevat studiepunten, deze beschrijven de geschatte werklast voor dit vak. Vakgroepen vereisen vaak dat je een bepaalde hoeveelheid een studiepunten opneemt.

Predicaten

De predicaten zijn opgedeeld in twee verzamelingen, de eerste omvat alle predicaten die op voorhand gegeven zijn en waarvan de waarheidswaarde al bekend is. In feite zijn dit de predicaten die de eigenlijke samenstelling van een opleiding uitdrukken. Dit is een lijst van de predicaten die tot deze groep behoren:

IsType(VakGroep,VakGroepType) Verzamelingen van vakken (of vakgroepen) behoren altijd tot één bepaald type. Voor elk type van vakgroep geldig bepaalde regels bovenop de regels de mogelijk van toepassing zijn op de vakgroep zelf.

InVakGroep(Vak,VakGroep) Vakken maken altijd deel uit van een bepaalde vakgroep, InVakGroep/2 drukt deze relatie uit.

InFase(Vak,Fase) Dit predicaat drukt uit in welke fases van de opleiding een vak gevolgd kan worden, voor elk vak bestaat er minstens één fase waarin het gegeven wordt. Als de student en vak wil volgen heeft hij/zij de keuze uit één van deze fases.

Verplicht(Vak,Fase) Vakken die behoren tot een vakgroep kunnen mogelijk verplicht, m.a.w. de student zal ze moeten opnemen.

De tweede verzameling zijn de predicaten waarvan de waarheidswaarde op voorhand niet gekend is, en waarvan verwacht wordt dat de gebruiker deze stap per stap invult. Hiertoe behoren slechts twee predicaten namelijk Geselecteerd(Vak,Fase) en GeenInteresse(Vak). Geselecteerd/2 geeft aan welke vakken de student wenst op te nemen tijdens de opleiding. GeenInteresse/1 daarentegen is eigenlijk een predicaat waarmee aangegeven kan worden dat een student helemaal geen interesse heeft om een vak te volgen. Dit is vooral handig als de student een geldige selectie wil laten genereren door het systeem waarbij hij/zij op voorhand kan aangeven dat deze selectie zeker niet de vakken kiest waarin de student geen interesse heeft. Het is niet verplicht dat de gebruiker invulling geeft aan dit predicaat. Door aan te geven dat de student geen interesse heeft om een bepaald vak te volgen kan het systeem afleiden dat er geen fases zijn waarin het vak geselecteerd kan worden.

Functionies

De functies koppelen een bepaald resultaat aan een combinatie van waarden uit het domein. Zo geven de functies `MinAantalStudiepunten(VakGroep):Studiepunten` en `MaxAantalStudiepunten(VakGroep):Studiepunten` respectievelijk het minimum en het maximum aantal studiepunten weer dat de student verplicht is te selecteren. Deze relaties zijn gekend op voorhand door het systeem en de student moet uiteraard trachten zich hieraan te houden. `GeselecteerdAantalStudiepuntenPerVakGroep(VakGroep):Studiepunten` is de relatie tussen het de som van de studiepunten van de vakken die reeds geselecteerd zijn die behoren tot de betreffende vakgroep. Naargelang de selectie kunnen deze waarden verschillen aangezien ze afhankelijk zijn van de keuze van de gebruiker. In het vocabularium zijn meerdere functies terug te vinden die gelijkaardige relaties uitdrukken zoals hierboven beschreven.

3.2 Features

3.2.1 Selectieproces

Elke keuze die de gebruiker maakt moet zorgvuldig afgehandeld worden om te kunnen garanderen dat de selectie altijd satisfieerbaar is. De voorwaarde is dat als de gebruiker een keuze maakt die ervoor zorgt dat de theorie niet langer satisfieerbaar is, hij hier meteen op de hoogte van wordt gebracht zodanig dat hij dit kan oplossen alvorens verder te gaan. Er wordt gestart met de minst precieze interpretatie W_0 om uiteindelijk stapsgewijs tot een exacte interpretatie W_n met maximale precisie te komen waarvoor geldt dat $W_n \cup G \models T$. Hoe deze stappen verlopen staat beschreven in onderstaand algoritme. Hier wordt W opnieuw opgedeeld in drie verzamelingen U , P en O . U is de verzameling van predicaten met een waarheidswaarde $\geq_P u$, waarvoor geldt dat deze toegekend zijn door de gebruiker. De tweede verzameling P bevat eveneens predicaten met een waarheidswaarde $\geq_P u$, maar deze zet zijn de propagaties die volgen uit U . O tenslotte is de set van predicaten waarvoor de waarheidswaarde nog onbekend is. Voor W_0 geldt: $W_0 = O_0$ en $U_0 = P_0 = \emptyset$. In het verder verloop van de tekst zal deze beschrijving blijven gelden en terugkomen.

3.2.2 Propagatie

Bij het samenstellen van een ISP kan het systeem de informatie die de gebruiker reeds verder gaan propageren. Hierbij baseert het systeem zich op de regels van de theorie. Neem het volgende voorbeeld:

$$\text{Geselecteerd}(A) \Rightarrow \text{Geselecteerd}(B)$$

Deze regel zegt dat als A geselecteerd is, B ook geselecteerd moet zijn. Als de gebruiker A selecteert, zal het systeem hieruit afleiden dat B ook geselecteerd moet doen. In de GUI zal te zien zijn dat B ook geselecteerd is, hoewel de gebruiker dit niet expliciet heeft gekozen.

Algorithm 1: Selectieproces

```

1 function Selectieproces ( $U_i$ );
   Input : De nieuwe keuze van de gebruiker  $P_i$ 
   Output :
2 if  $\text{Sat}(U_i)$  then
3    $V \leftarrow P_{i-1} \cap O_i$ ;
4   if  $V \neq \emptyset$  then
5      $V' \leftarrow \text{KeuzeGebruiker}(V)$ ;
6     Selectieproces( $U_i \cup V'$ );
7   else
8      $P_i \leftarrow \text{Propagate}(U_i)$ ;
9     NieuweGebruikerActie( $U_{i-1}, U_i, P_{i-1}, P_i, O_{i-1}, O_i$ );
10  end
11 else
12    $N \leftarrow \text{Unsat}(U_i)$ ;
13    $K, L \leftarrow \text{ManueleResolutie}(N)$ ;
14    $U'_i \leftarrow U_i [K] - L$ ;
15   Selectieproces( $U'_i$ );
16 end

```

3.2.3 Model Expansie

Als de gebruiker al zijn/haar voorkeuren heeft ingevuld in de partiële interpretatie W_i met $U_i \cup P_i \cup O_i = W_i$ en $O_i \neq \emptyset$. Dan kan het systeem de verzameling van predicaten O_i waarvan de waarheidswaarde nog onbekend is, verder oplossen. Om zo tot een interpretatie W_f te komen met $U_i \cup P_i \subseteq W_f$. W_f is tevens (precisie) maximaal en $W_f \cup G \models T$. Anders gezegd zal het systeem de partiële selectie verder vervolledigen tot een geldig ISP.

3.2.4 Minimизatie

Het is niet alleen mogelijk om een partiële selectie verder te laten vervolledigen, maar om hierbij ook een parameter in acht te nemen en een interpretatie W_f te bekomen waarbij deze parameter zo klein mogelijk is. Het systeem kan een optimalisatie van volgende parameters zoeken:

Werklast Met werklast wordt bedoeld het aantal studiepunten dat opgenomen wordt.

Een student is verplicht vakken te selecteren en gekoppeld aan die vakken zijn studiepunten. De student kan vragen aan het systeem om een ISP samen te stellen waarbij de werklast (de som van de studiepunten van de geselecteerde vakken) zo laag mogelijk is.

Verklast per semester Vakken die geen jaarvakken zijn, vallen ofwel in het eerste semester of het tweede. Het systeem kan een ISP samenstellen waarbij het verschil in studiepunten

tussen geselecteerde vakken van eerste en tweede semester zo klein mogelijk is. Zodat de werklast zo goed mogelijk verdeeld is tussen beide semesters.

Overlap Vakken hebben uiteraard lesmomenten en het kan al eens gebeuren dat deze lesmomenten voor verschillende vakken samenvallen. Dit is uiteraard niet ideaal voor de student om die niet op twee plaatsen tegelijk kan zijn. Stel dat er het lesmoment van vak A gepland is van 16u tot 18u en het lesmoment voor vak B vindt plaats op dezelfde dag van 15u tot 17u. De overlap bedraagt dan 60 minuten. De student kan een ISP laten genereren waarbij de totale som van alle overlap zo minimaal mogelijk is.

3.2.5 Ongedaan Maken

Het ongedaan kunnen maken van selecties is een van de aspecten waar meerdere strategieën mogelijk zijn. Elke stap in het selectieproces (nieuwe selectie door de gebruiker) wordt bijgehouden in een zogenaamde *actie*. Deze actie bevat niet alleen die nieuwe interpretatie W_i maar ook de voorgaande W_{i-1} zodanig dat als een actie ongedaan gemaakt wordt het systeem weet wat de toestand voorheen was en hier naar kan terugkeren. Het is niet noodzakelijk zo dat in een actie A_i met interpretaties W_{i-1} en W_i dat $W_{i-1} \leq_p W_i$. Acties beschrijven elke handeling in de tijd gemaakt door de gebruiker, dus ook de waarheidswaarde van een predicaat minder specifiek maken. Ongedaan maken in deze context betekent dus niet automatisch de huidige selectie minder specifiek maken, maar eerder terugkeren in de tijd.

Strategie 1a De eerste strategie houdt in dat als een actie ongedaan gemaakt wordt de interpretatie W_i simpelweg vervangen wordt door de voorgaande W_{i-1} . Dit is wellicht de meest simpele strategie aangezien er geen extra bewerkingen uitgevoerd moeten worden buiten het terugkeren naar de voorgaande interpretatie.

Algorithm 2: MaakActieOngedaan

```

1 function MaakActieOngedaan (Ac);
   Input : De actie die ongedaan gemaakt moet worden  $A_i$ 
   Output :
2 verwijder( $A_i$ );
3  $W_i \leftarrow W_{i-1}$ ;
```

Strategie 1b Bij de voorgaande strategie staat een actie ongedaan maken gelijk aan simpelweg de klok terugdraaien en W_i vervangen door W_{i-1} . Dus eventuele propagaties die volgden uit de keuze van de gebruiker in de actie worden ook ongedaan gemaakt. En in plaats van alles simpelweg ongedaan te maken zou het beter zijn als de gebruiker de keuze krijgt om eventuele propagaties te behouden. Dit zorgt echter voor het volgende probleem. De assumptie is dat acties handelingen weergeven in de tijd gemaakt door de gebruiker, het ongedaan maken van handelingen wordt dus

gezien als het terugdraaien van de tijd. Maar als de gebruiker kiest om een actie ongedaan te maken en tegelijk eventuele propagaties toch wil behouden dan geldt deze assumptie niet meer. In 3 staat beschreven hoe dit probleem opgelost kan worden. Het is simpelweg een uitbreiding op de eerste strategie, een actie wordt nog altijd verwijderd en de laatste interpretatie W_i wordt vervangen door de voorgaande W_{i-1} . Maar waar het hier voorheen stopte gebeurt er nu het volgende. Er wordt gecontroleerd of er een set van predicaten V bestaat die zowel toebehoren aan O_{i-1} en P_i . Ofwel predicaten waarvoor de waarheidswaarde eerst onbekend was en daarna een meer specifieke waarheidswaarde hebben gekregen d.m.v. propagatie als gevolg van de keuze van de gebruiker. Is deze set niet leeg dan zal de gebruiker moeten kiezen in KeuzeGebruiker welke van de propagaties te houden. In het geval dat de gebruiker kiest om propagaties te behouden, worden deze niet langer gezien als propagaties maar eerder als keuzes gemaakt door de gebruiker. Deze worden toegevoegd aan de verzameling U en dit wordt gezien als een nieuwe handeling in het selectieproces waarvoor een nieuwe actie gecreëerd zal worden.

Algorithm 3: MaakActieOngedaan

```

1 function MaakActieOngedaan (Ac);
   Input : De actie die ongedaan gemaakt moet worden  $A_i$ 
   Output :
2  $V \leftarrow O_{i-1} \cap P_i$ ;
3 verwijder( $A_i$ );
4  $W_i \leftarrow W_{i-1}$ ;
5 if  $V \neq \emptyset$  then
6    $V' \leftarrow \text{KeuzeGebruiker}(V)$ ;
7   if  $V' \neq \emptyset$  then
8     Selectieproces( $U_{i-1} \cup V'$ );
9   end
10 end

```

Strategie 2 Voorheen was de assumptie dat een actie ongedaan maken gelijk stond aan de tijd als het ware terugdraaien en de interpretatie vervangen door de voorgaande. En dat dit niets te maken had met de precisie ordening van de interpretaties. Voor deze strategie wordt er niet meer uitgegaan van deze assumptie, maar in plaats daarvan staat ongedaan maken gelijk aan eender welke keuze van de gebruiker die ervoor zorgt dat de interpretatie minder precies wordt. Dit kan zijn de waarheidswaarde van een predicaat ongedaan (minder precies) maken of een waarheidswaarde van een predicaat veranderen van bv. waar naar onwaar. Met als gevolg dat de interpretatie minder precies is omdat propagaties niet meer gelden. Wat verandert is dat in deze situatie geen expliciete acties meer worden bijgehouden zoals voorheen, en dat ongedaan maken nu een onderdeel is van het selectieproces zelf. Kort gezegd verandert enkel de assumptie over ongedaan maken. De rest van

de werking blijft dezelfde, behalve dat zoals voorheen niet meer gebruikt worden. De werking staat beschreven in 4.

Algorithm 4: Selectieproces

```

1 function Selectieproces ( $U_i$ );
   Input : De nieuwe keuze van de gebruiker  $P_i$ 
   Output :
2 if  $\text{Sat}(U_i)$  then
3    $V \leftarrow P_{i-1} \cap O_i$ ;
4   if  $V \neq \emptyset$  then
5      $V' \leftarrow \text{KeuzeGebruiker}(V)$ ;
6     Selectieproces( $U_i \cup V'$ );
7   else
8      $P_i \leftarrow \text{Propagate}(U_i)$ ;
9     //  $\text{NieuweGebruikerActie}(U_{i-1}, U_i, P_{i-1}, P_i, O_{i-1}, O_i)$ ;
10    niet langer van toepassing
9   end
10 else
11    $N \leftarrow \text{Unsat}(U_i)$ ;
12    $K, L \leftarrow \text{ManueleResolutie}(N)$ ;
13    $U'_i \leftarrow U_i [K] - L$ ;
14   Selectieproces( $U'_i$ );
15 end

```

3.3 Conflict Explanation

Het is mogelijk dat de gebruiker een verkeerde keuze maakt waardoor de theorie niet meer satisfieerbaar is. Simpel gezegd heeft de gebruiker een waarde gekozen voor een bepaalde variabele, zodanig dat dit ervoor zorgt dat één of meerdere regels uit de theorie samen niet meer waar kunnen worden gemaakt.

$$\text{Geselecteerd}(A) \wedge \text{Geselecteerd}(B)$$

Het bovenstaande voorbeeld van een theorie bevat één regel die zegt dat A en B beide geselecteerd moeten zijn. Stel dat de gebruiker nu kiest $\neg \text{Geselecteerd}(A)$. Hieruit volgt dat de regel uit de theorie nooit waar kan zijn, of niet satisfieerbaar wordt. Dit is een conflict en het is aan het systeem om aan de gebruiker duidelijk te maken dat er een probleem is, wat het probleem inhoudt en hoe de gebruiker dit kan oplossen. Dit laatste behoort tot het domein van conflict explanation. IDP gebruikt momenteel twee technieken om oorzaken van niet satisfieerbaarheid op te sporen. De unsatstructure spoort een set van variabelen op die het probleem veroorzaken. Vervolgens is er de unsattheory, die zoekt naar een minimale set van regels uit de theorie die niet waar gemaakt kunnen worden gegeven de huidige selectie.

Unsatstructure

De unsatstructure is een efficiënte tool om aan de gebruiker te kunnen meedelen, welke van de voormalige selecties problemen veroorzaken. In het voorbeeld van het ISP werd er een opsplitsing gemaakt tussen twee sets van predicaten, Γ waarvoor de invulling G vooraf bekend is en Ω waarvoor een interpretatie W samengesteld dient te worden door de student. W bestond zelf opnieuw uit drie verzamelingen U , P en O . Als een interpretatie ervoor zorgt dat de theorie niet meer satisfieerbaar wordt, dan is dit te wijten aan de keuze van de gebruiker U . En het is van deze verzameling dat de unsatstructure een precisie minimale deelverzameling V zal zoeken als oorzaak van het probleem. Het is in deze verzameling V dat de student zal kunnen doen om het probleem op te lossen.

Reified Constraints

Wat opvalt is dat de voorgaande techniek enkel een verzameling selecties teruggeeft die bijdragen tot het probleem. Maar verdere uitleg over welke regel(s) uit de theorie niet meer waar gemaakt kunnen worden en waarom wordt niet gegeven. Dus de gebruiker krijgt enkel de foute selectie te zien, zonder erbij te zeggen wat er juist mis mee is. Herinner de unsattheory zoekt achter een minimale set van regels uit de theorie die niet meer waar gemaakt kunnen worden. Dit is het exact hetgeen wat de gebruiker hoort te weten om het probleem op te lossen, maar het probleem zit het hem in de formulering. De unsattheory formuleert de fouten in de IDP syntax $FO(\cdot)$. Deze syntax is voor de doorsnee informaticus met een achtergrond in eerste orde logica of IDP goed te lezen, maar voor een student die geen ervaring heeft met deze domeinen zal ongetwijfeld niet in staat zijn deze regels te ontcijferen. Neem als voorbeeld onderstaande regel, elke student computerwetenschappen zal vrij snel kunnen achterhalen wat de regel inhoudt. Maar personen zonder deze achtergrond zullen dit niet kunnen verstaan.

LISTING 3.1: IDP Rule Example

$$\begin{aligned} \forall vg[VakGroep] : & \text{IsType}(vg, AVO) \Rightarrow \text{GesAantalStupunVakGr}(vg) \\ = & \text{sum}\{v[Vak], \text{sp}[Studiepunten], f[Fase] : \text{InVakGroep}(v, vg) \\ \wedge & \text{Geselecteerd}(v, f) \wedge \text{AantalStudiepunten}(v) = \text{sp} : \text{sp}\}. \end{aligned}$$

Een mogelijke oplossing voor dit probleem komt in de vorm van reified constraints. De theorie T bestaat uit regels (constraints) en hierin wordt onderscheid gemaakt tussen 2 sets van regels. De eerste is de set van regels B die altijd waar zullen zijn, deze noemen we achtergrond constraints. De andere set is die van regels F genaamd voorgrond constraints die de gebruiker moet zien waar te maken d.m.v. een correcte interpretatie samen te stellen. Het is deze set van regels F , waarvoor reified constraints gebruikt zullen worden. Voor zij die niet bekend zijn met het concept van reified constraints, het is een zeer simpele techniek. Een regel C (constraint) kan heel simpel omgevormd worden tot een reified constraint door C equivalent te maken aan een booleaanse waarde B . Dus een regel C ziet er als dan als volgt uit, $B \leftrightarrow C$. De waarheidswaarde van C is dan equivalent aan die van B , dus als de regel

3. IMPLEMENTATION

niet consistent of 'false' is, zal B dus ook 'false' zijn, hetzelfde geldt ook voor 'true' uiteraard. De voorgaande regel ziet er dan als volgt uit.

LISTING 3.2: IDP Reified Constraint Example

$\begin{aligned} \text{Regel} \leftrightarrow \forall vg[VakGroep] : \text{IsType}(vg, AVO) \Rightarrow \text{GesAantalStupunVakGr}(vg) \\ = \text{sum}\{v[Vak], sp[Studiepunten], f[Fase] : \text{InVakGroep}(v, vg) \\ \wedge \text{Geselecteerd}(v, f) \wedge \text{AantalStudiepunten}(v) = sp : sp \}. \end{aligned}$
--

Rule is de booleaanse variabele wiens waarheidswaarde die van de regel reflecteert. Op deze manier hoeven we enkel na te gaan of Rule true of false is om te weten te komen of de regel (in)consistent is gegeven de selectie van de gebruiker. Dit alleen biedt natuurlijk niet veel extra informatie, maar het nut van de booleaanse variabele is wel degelijk belangrijk. Voor elke regel uit F is er op voorhand een beschrijving opgesteld in natuurlijke taal met de redenering achter het eventuele falen van die regel. Aan de hand van de reified constraints kan er heel gemakkelijk achterhaald worden welke regels er wel of niet consistent zijn door simpelweg te kijken naar de booleaanse waarde in de regels. Is de booleaanse variabele false, dan moet de gebruiker de bijhorende beschrijving te zien krijgen voor deze regel. Hoewel dit een zeer gemakkelijke en generische manier is om aan conflict explanation te doen, zijn de mogelijkheden van deze techniek toch gelimiteerd en niet altijd voldoende toereikend. Ten eerste is de uitleg vaak oppervlakkig en niet specifiek genoeg om duidelijk te kunnen verklaren waarom een regel inconsistent is.

LISTING 3.3: Reified constraint Shortcomings

$\begin{aligned} \forall vg[VakGroep] : \text{MaxAantalStudiepunten}(vg) > 0 \Rightarrow \\ \text{MinAantalStudiepunten}(vg) \leq \text{GeselecteerdAantalStudiepuntenPerVakGroep}(vg) \end{aligned}$	<p>Verklaring: Je hebt niet voor alle vakgroepen tussen het minimum en maximum</p>
---	--

Bovenstaande regel stelt dat voor elke vakgroep, het totaal aantal geselecteerde studiepunten van deze vakgroep tussen diens minimum en maximum moet liggen, als het maximum aantal studiepunten ervan groter is dan nul. In het geval dat deze regel inconsistent is krijgt de student de bijhorende verklaring te zien. De verklaring is algemeen en geeft geen specifieke details. Zo zegt het niet voor welke vakgroep het geselecteerd aantal studiepunten niet klopt, en of het er nu teveel of te weinig zijn. Dus de verklaringen zijn redelijk beperkt in hun mogelijkheden. En ten tweede laat deze methode enkel toe om inconsistente regels op te sporen. Een Interactief Configuratieprobleem zoals het ISP bevat een verzameling predicaten Ω waarvoor de gebruiker (in dit geval een student) stapsgewijs een interpretatie W samenstelt. Deze interpretatie moet uiteindelijk als ze compleet is, een geldig model zijn volgens de regels van de theorie. Een regel is inconsistent als ze niet voldaan is gegeven de huidige partiële selectie. Dit wil niet zeggen dat de regel niet meer consistent kan worden naarmate de interpretatie verder ingevuld wordt door de student. Terwijl een set van regels die nooit samen waar gemaakt kunnen worden gegeven de huidige partiële selectie niet-satisfieerbaar zijn. Het is deze laatste set van regels die dient gevonden te worden. De techniek van reified constraints op zich kan dit niet verwezenlijken. Maar door deze techniek te combineren met de unsatstructure wordt dit wel mogelijk.

Hiervoor moet er een nieuwe theorie T' opgesteld worden. Herinner dat de regels uit T opgedeeld zijn in twee sets, B de achtergrond constraints en F de voorgrond constraints. T' bevat ook beide sets maar de regels uit F zijn omgevormd tot reified constraints. /*INSERT EXAMPLE CODE*/ Het vocabularium voor T' is dan ook hetzelfde als dat van T met de toevoeging van het predicaat $\text{Regel}(\text{Nummer})$. Dit stelt de waarheidswaarde van een reified constraint voor, waarbij elke regel een uniek nummer krijgt. Nemen we terug de regel uit $??$, dan ziet deze er als volgt uit:

LISTING 3.4: IDP Reified Constraint Example 2

$\begin{aligned} \text{Regel}(1) \leftrightarrow \forall vg[VakGroep] : \text{IsType}(vg, AVO) \Rightarrow \text{GesAantalStupunVakGr}(vg) \\ = \text{sum}\{v[Vak], sp[Studiepunten], f[Fase] : \text{InVakGroep}(v, vg) \\ \wedge \text{Geselecteerd}(v, f) \wedge \text{AantalStudiepunten}(v) = sp : sp\}. \end{aligned}$
--

Belangrijk is dat de waarheidswaarde van dit predicaat voor elke regel op 'true' staat, dit wil zeggen dat ervan uit wordt gegaan dat aan elke regel voldaan moet worden. Wanneer blijkt dat een selectie U ervoor zorgt dat de theorie T niet meer satisfieerbaar is, wordt deze gebruikt samen met T' . Sinds ervan uit wordt gegaan dat elke regel waar moet zijn ($\text{Regel}(\text{Nummer})$ is true voor elke regel) zal er dus nooit een invulling bestaan die U bevat die dat kan waarmaken. Maar i.p.v. de unsatstructure te laten zoeken naar een precisie minimale subset van U , gaat deze opzoek naar een precisie minimale subset van de verzameling predicaten $\text{Regel}(\text{Nummer})$. Deze set is een verzameling van regels die niet-satisfieerbaar zijn volgens U .

Amilhastre

/*TITEL?*/ De unsatstructure is zeker een belangrijk onderdeel van het IDP systeem. In geval van een niet satisfieerbare selectie U , zal de methode op zoek gaan naar één precisie minimale subset $V \subseteq U$, die niet satisfieerbaar is. Met andere woorden wijst het de oorzaak van het probleem aan, zeer nuttige informatie die de gebruiker kan bijstaan om de selectie terug satisfieerbaar te maken. Maar de unsatstructure is niet in staat om te verklaren waarom de selectie juist fout is, en kan ook geen mogelijke oplossingen bieden die satisfieerbaarheid terug kunnen herstellen. Met oplossing wordt bedoeld de kleinste verzameling van predicaten die ongedaan gemaakt dienen te worden om het probleem terug satisfieerbaar te maken.

In (Amilhastre et al., 2002) wordt getoond hoe de oplossingsverzameling van een CSP voorgesteld kan worden door een eindige toestandsautomaat. Deze automaat, die vooraf berekend wordt kan vervolgens gebruikt worden om tijdens het selectieproces de complexiteit van de bewerkingen van verscheidene inferentie taken te reduceren en zo de reactietijd aanzienlijk te verbeteren. Eén van deze taken is het voorzien van oplossingen in geval van een niet-satisfieerbare selectie, en dit is exact hetgeen waar naar we op zoek zijn. De focus van de paper ligt op het reduceren van de complexiteit van de bewerkingen gedurende het selectieproces met behulp van de vooraf berekende automaat. En hoewel dit niet de focus is van dit onderzoek, biedt de techniek wel de inferentie taak aan die we zoeken. En met de garantie, zo stelt de paper dat de complexiteit van de bewerkingen aanzienlijk lager ligt dan normaal.

3. IMPLEMENTATION

De automaat is een compacte voorstelling van de oplossingsverzameling van een configuratieprobleem. Elk pad is een combinatie van waarden uit het domein van de variabelen die samen een correcte interpretatie vormen volgens de theorie. De voorstelling van IDP is echter anders, hierbij geeft de gebruiker invulling d.m.v. toekenning van waarheidswaarden aan de verzameling van predicaten Geselecteerd(Vak,Fase). Als de student dus waarheidswaarde true toekent aan het predicaat Geselecteerd(G0Q66C,2), betekent dit dat de student het vak 'Fundamenten van Computergrafiek' wil volgen in de 2de fase van de opleiding. Door elk uniek vak voor te stellen als variabele met als domein de mogelijke fases waarin ze gegeven worden krijgen we een formaat dat nodig is voor de automaat. Voor elk vak dient 0 toegevoegd te worden aan het domein, dit voor wanneer een vak niet geselecteerd is door de gebruiker. Via dit formaat van conversie is het dus mogelijk om de automaat te construeren en er mee te communiceren.

LISTING 3.5: IDP Syntax conversion

$$\begin{aligned} \text{Vak} &= \{G0Q66C; \dots\} \rightarrow V_{G0Q66C} \\ \text{InFase} &= \{G0Q66C, 1; G0Q66C, 2; \dots\} \rightarrow D_{V_{G0Q66C}} = \{0, 1, 2\} \end{aligned}$$

De constructie bestaat uit een aantal stappen, te beginnen bij het opsommen van alle mogelijk oplossingen. Dit gebeurt in IDP door simpelweg model expansie aan te roepen en alle oplossingen op te sommen. De output van één geldige oplossing ziet er als volgt uit:

LISTING 3.6: IDP model

```
Geselecteerd = { "G0B36A", 1; "G0G88A", 1; "G0Q66C", 1;
"H02A8A", 1; "H02C1A", 1; "H02C3A", 1; "H02C8A", 1; "H02D2A", 1;
"H04I0A", 1; "H04I2A", 1; "H04I4A", 1; "H0T25A", 1 }
```

Dit formaat wordt vervolgens omgevormd en weggeschreven in een tabel 3.1. Vakken die niet in de verzameling staan zijn niet geselecteerd, in de tabel staat er dan een 0 in de kolom van het vak. De waarden uit de tabel worden dan vervolgens gebruikt om de een automaat mee te bouwen. De automaat is niet minimaal, dit wordt gedaan volgens het Hopcroft algoritme wat ons uiteindelijk de automaat geeft die nodig is voor de implementatie.

In geval van een niet-satisfieerbare selectie zal de techniek volgens Amilhastre alle minimale oplossingen zoeken voor het probleem. Nog een voordeel van de automaat is dat ze werkt op basis van gewichten. Standaard heeft elk vak dezelfde voorkeur (gewicht) van 1, hierdoor is een minimale oplossing een oplossing waarbij zo weinig mogelijk keuzes ongedaan gemaakt worden. Maar door de gewichten in de automaat aan te passen kunnen voorkeuren mee in rekening worden gebracht, dit zal een effect hebben op de minimale oplossingen. Het aanpassen van deze gewichten vereist geen herberekening van de automaat en is ook geen kostelijke operatie. /*INSERT SMALL EXAMPLE*/

Algorithm 5: Constructie Automaat

```

1 function BouwAutomaat (I,F,T);
   Input : I de begintoestand, F de eindtoestand, T de tabel met oplossingen
   Output : A de automaat
2 R ← aantalRijen(T) ;
3 K ← aantalKolommen(T) ;
4 H ← I ;
5 for i = 0, i < R, i++ do
6   for j = 0, j < K, j++ do
7     V ← T[i][j] ;
8     if !H.heeftOvergang(V) then
9       if j < K-1 then
10        S ← Toestand() ;
11      else
12        S ← F ;
13      end
14      T ← Overgang(V,S) ;
15      H.nieuweOvergang(T) ;
16    end
17    H ← H.volg(V) ;
18  end
19  H ← I ;
20 end
21 A ← Automaat() ;
22 A.beginToestand(I) ;
23 return A ;

```

TABLE 3.1: Tabel van oplossingen

G0B36A	G0Q66C	H02A8A	H09B5A	G0G88A	H02C1A	
1	1	1	0	1	1	

3.4 Front-End

Herinner dat het samenstellen van het ISP een interactief configuratieprobleem is, en om aan de eigenschappen van zo'n IC probleem te kunnen voldoen moet de reactietijd van de inferentie methoden waarop de voorheen beschreven features gebaseerd zijn snel genoeg zijn. Met snel genoeg wordt bedoeld niet meer dan enkele seconden en in sommige gevallen zelfs nog minder. Afhankelijk van hoe frequent sommige methodes gebruikt worden kunnen de eisen omtrent reactietijd verschillen, kort gezegd moeten de functies die het meest aangeroepen worden de snelste reactietijd hebben. Om dit te testen heb ik een front-end applicatie ontwikkeld die al deze features implementeert en met behulp van een grafische interface een student toelaat een ISP samen te stellen. De input van de gebruiker wordt vertaald naar $FO(\cdot)$ en doorgespeeld naar IDP. Vervolgens voert IDP inferentie uit en de resultaten hiervan worden terug doorgespeeld naar de front-end, die het resultaat zal weergeven d.m.v. de GUI. Zo kunnen de prestaties van IDP in een gebruiksvriendelijke omgeving getest worden.

3.4.1 Grafische Gebruikersinterface

De interface van de applicatie ziet er grotendeels gelijkaardig uit aan die van de bestaande web applicatie. Hierdoor kunnen potentiële gebruikers die bekend zijn met de web applicatie snel vertrouwd geraken met het nieuwe systeem.

Selectie venster De interface bestaat uit twee onderdelen, het eerste venster is dat waar de student het ISP kan samenstellen. In 3.1 is de weergave te zien van dit onderdeel van de applicatie. Er zijn drie secties te onderscheiden in de weergave, de grootste en wellicht de belangrijkste sectie is dat waar de structuur van de opleiding in is weergegeven. De vakken staan weergegeven in de blauwe kaders, die netjes gesorteerd zijn per vakgroep (groene kaders) waar ze deel van uit maken. Per vakgroep zijn de verplichte vakken gescheiden van keuzevakken (gele kaders). /*BLAUWE KADERS UITLEGGEN?*/ De tweede sectie is de kolom genaamd *History* aan de rechterzijde, waarin de acties van de gebruiker in komen te staan. Elke (de)selectie die de student maakt wordt automatisch toegevoegd aan deze lijst voor een duidelijk overzicht. De laatste sectie is de balk met functietoetsen helemaal onderaan, waarin enkele belangrijke functionaliteiten in verwerkt zitten.

Expand Eén van de nieuwe toevoegingen is de mogelijkheid om het systeem een partiële selectie verder te vervolledigen tot een geldig ISP. Deze functie kan aangeroepen worden d.m.v. de Expand toets.

Optimize Daarnaast is het ook mogelijk om een optimaal ISP samen te stellen, volgens een bepaald criterium, dit door op 'Optimize' te klikken.

Select Term Optimalisatie moet dus gebeuren volgens een bepaald criterium, 'Select term' is een drop down menu waarin de student zo'n criterium kan selecteren alvorens optimalisatie uit te voeren.

FIGURE 3.1: Het selectie venster van de grafische interface



ECTS Stats De regels van het ISP bestaan voor een groot deel uit regels die bepalen hoeveel studiepunten de student moet/mag selecteren voor bepaalde vakgroepen. Om te vermijden dat de student zelf moet beginnen tellen, kan deze via 'ECTS Stats' een duidelijk overzicht opvragen van de huidige stand der zaken. Het overzicht bevat voor elke vakgroep de eventuele onder- en bovengrenzen samen met de som van studiepunten van de reeds geselecteerde vakken.

Undo Deze toets laat de gebruiker toe om de laatste nieuwe actie ongedaan te maken.

Overzicht lessenrooster Eén van de doelstellingen in dit onderzoek is de integratie van het lessenrooster bij het opstellen van het ISP. Het tweede onderdeel van de interface is speciaal hiervoor ontworpen. Voor de huidige selectie van de student zal telkens het bijhorende lessenrooster worden bepaald. In dit onderdeel van de applicatie kan de gebruiker een duidelijk overzicht bekijken van dit lessenrooster en eventuele overlap in lesmomenten laten berekenen. Via de kalender kan de student de dagindeling van eender welke werkdag bekijken. Deze staat weergegeven aan de rechterzijde van het scherm. De knop 'Statistics' onderaan rechts berekent de totale overlap van lesmomenten per week.

/*INSERT SCREENSHOT*/

3.4.2 Communicatie tussen Front- en Back-end

Niet alleen is de syntax tussen IDP en Python compleet verschillend, het zijn ook twee verschillende klassen van programmeertalen respectievelijk declaratief en objectgeoriënteerd. Dus communicatie tussen de twee talen is niet vanzelfsprekend. Een Python API die toelaat IDP te gebruiken is reeds ontwikkeld (Vennekens, 2015). Het doel van de API is om de kloof tussen de declaratieve omgeving van IDP en Python kleiner te maken. Door een populaire programmeertaal te kiezen hoopt de auteur dat informatici met een achtergrond in declaratieve talen en logica sneller van IDP gebruik zullen maken zelfs als ze de syntax van IDP niet meester zijn. Persoonlijk heb ik wel al ervaring met IDP en heb dus geopteerd om geen gebruik te maken van de API.

De input van IDP is compleet tekstueel, de front-end moet een volledig tekst-bestand genereren in een formaat dat IDP kan begrijpen. De output van IDP is opnieuw een tekst-bestand dat de front-end zal moeten parsen om het resultaat te kunnen verwerken. Zo'n tekst-bestand heeft altijd dezelfde opmaak, het bevat een theorie, vocabularium, structuur, procedure en eventueel termen in geval van minimalisatie. De front-end bevat een parser object dat voor elke oproep zo'n tekst bestand zal opbouwen. De theorie, vocabularium en de procedures zijn altijd dezelfde en hoeven slecht éénmalig ingelezen te worden. Enkel de structuur zal bij elke nieuwe actie gedeeltelijk dynamische gegenereerd moeten worden. De predicaten in het vocabularium zijn opgedeeld in twee verzamelingen. De eerste verzameling Γ bevat de predicaten die vooraf gegeven zijn en gekend zijn door het systeem. Anders gezegd bestaat er een interpretatie G voor Γ . De andere verzameling Ω , zijn de predicaten waar nog geen interpretatie W voor gegeven is en die door de gebruiker (in dit geval de student) ingevuld zullen moeten worden. Tot deze laatste groep behoren volgende predicaten: `Geselecteerd(Vak,Fase)` en `GeenInteresse(Vak)`. De bedoeling is om een invulling te zoeken zodat $W \cup G$ consistent is met alle regels van de theorie T .

Chapter 4

Evaluation

Eén de de doelstellingen van dit onderzoek is om na te gaan of de regels van het ISP in IDP beschreven kunnen worden. En hoe algemeen deze regels gemaakt kunnen worden zodanig dat dezelfde theorie meerdere opleidingen kan beschrijven. Daarnaast is het de bedoeling om het lessenrooster mee in rekening te brengen. Aangezien het mogelijk is dat vakken overlappen, is het toch belangrijk dat de student op de hoogte is van deze informatie. Met deze regels willen we natuurlijk inferentie kunnen doen, en een belangrijke vereiste van een Interactief configuratieprobleem zoals een ISP samenstellen is een snelle respons. De inferentietaken moeten dusdanig snel afgehandeld kunnen worden dat de reactietijd hooguit enkel seconden bedraagt. En tenslotte is er nog conflict explanation, waarbij ik wil nagaan wat de mogelijkheden zijn binnen ISP en of andere externe technieken Amilhastre et al. (2002) in samenwerking met IDP extra mogelijkheden kunnen bieden.

4.0.1 Theorie van het ISP

Geen twee opleidingen zijn dezelfde, en toch zou het gemakkelijk zijn als ongeacht deze verschillen we telkens dezelfde set van regels kunnen gebruiken zonder daarin te moeten gaan aanpassen. Om de omvang van het project haalbaar te houden voor één persoon, is het domein van opleidingen beperkt gebleven tot die van de computerwetenschappen en informatica. Hiervoor ben ik erin geslaagd en theorie op te stellen die zonder probleem eender welk van deze opleidingen kan beschrijven. Hoewel de naamgeving vaak verschilt per opleiding, komen toch vaak structuren voor die dezelfde eigenschappen vertonen. Dus de echte uitdaging is deze structuren vinden, niet de regels ervoor schrijven. Voor een klein sub-domein binnen de opleidingen van de K.U. Leuven is het dus mogelijk een theorie te vinden.

4.0.2 Front-End Applicatie

Het hoofddoel van de Front-End (incl. Grafische User-Interface) is het simuleren van een mogelijke toekomstige applicatie die effectief gebruikt kan worden door studenten en om gemakkelijk de inferentie technieken van het IDP systeem te kunnen testen in een real-time setting. Momenteel bestaat er al een web applicatie waarmee een

TABLE 4.1: Functionaliteiten

	Web applicatie	Nieuwe applicatie
Handmatige selectie	✓	✓
Controle correctheid	✓	✓
Verklaring v. incorrectheid	✓	✓
ISP genereren		✓
Optimaal ISP genereren		✓
Propagatie		✓
Ongedaan maken	✓	✓
Geschiedenis v. Acties		✓
Weergave lessenrooster		✓

student een ISP kan samenstellen. Deze kan als maatstaf dienen in de beoordeling van het nieuwe systeem. Er kan namelijk pas gesproken worden van vooruitgang als de nieuwe toepassing betere prestaties levert en uitgebreidere functionaliteit biedt ten opzichte van de reeds bestaande standaard. Hierbij ligt de focus op (i) het verschil in functionaliteiten (welke functionaliteit is aanwezig in welke applicatie?) en (ii) het niveau van ondersteuning dat ze aanbieden. Criteria zoals design en platform zullen hier niet aan bod komen aangezien deze niet tot de essentie van dit onderzoek behoren. Prestaties van de verschillende inferentie technieken staan besproken in een verder hoofdstuk.

De huidige web applicatie van de K.U. Leuven biedt een basispakket van ondersteuning aan, essentieel voor de student om zijn/haar ISP te kunnen vervolledigen. Het laat de student toe om te kiezen welke opleidingsonderdelen van de gekozen opleiding hij/zij van plan is te volgen. De selectie kan vervolgens gecontroleerd worden op correctie, m.a.w. het systeem zal nagaan of ze voldoet aan alle regels van het ISP. En als de selectie niet voldoet aan deze regels zal het systeem dit melden en tevens ook uitleg voorzien waarom de selectie niet voldoet aan de regels. Deze functionaliteiten zitten ook allemaal inbegrepen in de nieuwe applicatie, samen met nog een aantal nieuwe functies. Hiermee kan ik veilig stellen dat het aanbod van functionaliteit in mijn nieuwe applicatie zeker uitgebreider is dan dat van het huidige systeem. Naast het basispakket is het ook mogelijk voor de gebruiker om een partiële selectie verder te laten invullen door het systeem tot het een volledig geldige selectie is volgens de regels van het ISP, het is zelfs mogelijk om een optimaal ISP te laten opstellen volgens een bepaald criterium. Gedurende het selectieproces is het mogelijk dat de keuzes van gebruiker ervoor zorgen dat bepaalde opleidingsonderdelen geselecteerd moeten worden als een gevolg hiervan, het systeem zal deze keuzes automatisch invullen (propageren) zodat de gebruiker zich hier geen zorgen over moet maken. Elke nieuwe stap in het selectieproces wordt bijgehouden in een geschiedenis van acties, als de gebruiker niet tevreden is met de selectie en deze wil wissen dan kan dit door de acties ongedaan te maken. Wanneer de student een vak selecteert dan zal het systeem een partieel lessenrooster genereren, dit is handig om te controleren of mogelijk geen lesmomenten overlappen met elkaar.

Er is dus een duidelijk verschil in het aanbod van functionaliteiten, maar bieden ze ook allemaal hetzelfde niveau van ondersteuning? Om te beginnen zullen we de gemeenschappelijke onderdelen onder de loep nemen. Als eerste is er de handmatige selectie, wellicht de meest essentiële van alle functionaliteiten. In beide applicaties geeft het de student de mogelijkheid om aan te vinken welke van de vakken hij/zij wenst te volgen, beide applicaties werken op dezelfde manier met uitzondering dat het in de web applicatie niet mogelijk is om aan te geven dat je niet geïnteresseerd bent in een vak.

Zowel de bestaande als de nieuwe app kunnen een selectie controleren op geldigheid, maar de nieuwe applicatie doet dit bij elke nieuwe selectie van de student zodanig dat fouten zo snel mogelijk gedetecteerd worden. Bij de web applicatie gebeurt dit enkel wanneer de student denkt klaar te zijn en diens keuze bevestigt.

Blijkt dan dat de selectie niet geldig is volgens de regels, dan dient hier een verklaring voor gegeven te worden. Het bestaande systeem biedt duidelijke verklaringen in de zin dat het kan verklaren welke regels er niet kloppen. De duidelijkheid van de verklaringen in het nieuwe systeem is sterk afhankelijk van de IDP theorie die het gebruikt, de opmerking werd al gemaakt dat een algemene theorie niet geschikt is om de gebruiker goed te kunnen informeren i.p.v. een specifieke theorie. Het is dus mogelijk voor de nieuwe applicatie om evenveel duidelijkheid te kunnen scheppen als de web applicatie, maar dit zal sterk afhangen van de gebruikte theorie en dus ten koste zijn van andere factoren. Maar hier houdt het voor de web applicatie op, naast tekstuele verklaringen van de regels die verbroken zijn biedt het systeem geen verdere ondersteuning die de gebruiker kunnen helpen bij het oplossen van een foute selectie. De nieuwe applicatie kan opsporen in welk deel van de selectie de fout zich bevindt, en is zelfs in staat om alle mogelijk (minimale) oplossingen te tonen aan de gebruiker.

Het bijhouden van de acties gemaakt door de gebruiker in een geschiedenis is ook één van de nieuwe features. Voorheen was het al mogelijk om selecties ongedaan te maken door simpelweg het vinkje in de checkbox van een geselecteerd vak uit te vinken. Dit is nog altijd mogelijk maar daarbij is het ook nog eens mogelijk om de acties uit de geschiedenis ongedaan te maken. Propagaties die niet meer gelden als gevolg van acties of selecties ongedaan maken zullen getoond worden aan de student die dan kan kiezen of hij/zij deze nog wil behouden of niet.

En tenslotte kan de student een partiële selectie verder laten vervolledigen door het systeem. Hierbij zal het systeem uiteraard de reeds gemaakte keuzes behouden en ze verder vervolledigen. De student kan aangeven als hij/zij niet geïnteresseerd is in bepaalde vakken en bij het verder aanvullen van de selectie zal de nieuwe applicatie deze vakken niet kiezen. Niet alleen is het mogelijk om een partiële selectie verder aan te vullen, maar de student kan als hij/zij dit wenst een optimaal ISP samen laten stellen volgens een bepaalde parameter (bv. de werklast zo gelijk mogelijk verdelen over beide semesters).

4.0.3 Inferentie

Met behulp van de interface kan de gebruiker een ISP samenstellen. Het is de bedoeling om de gebruiker bij te staan in dit proces, dit door gevolgen van bepaalde keuzes door te voeren, een onvolledige selectie te vervolledigen, een optimaal ISP samen te stellen volgens een bepaald criterium, foute keuzes te detecteren en de gebruiker hiervan op de hoogte te brengen etc.. En niet te vergeten, al deze processen moeten in real-time gebeuren en dus zeer snel afgehandeld kunnen worden. Binnen het domein van de opleidingen, ben ik tot de conclusie gekomen dat zowat al deze inferentie taken snel zeer snel en efficiënt uitgevoerd worden. De reactietijd, meegerekend het genereren van de IDP text file en het resultaat terug ontcijferen bedraagt in bijna alle gevallen minder dan 1 seconde. Zelfs de resultaten van minimalisatie opdrachten geven goede resultaten terug met een maximale rekentijd van ongeveer 10 seconden.

/*RESULTATEN*/

4.0.4 Conflict Explanation

Voor IC problemen is het de verantwoordelijkheid van het systeem om de gebruiker zo goed mogelijk bij te staan terwijl deze het probleem probeert op te lossen. Dit geldt zeker voor situaties waarbij de gebruiker een keuze heeft gemaakt die nooit tot een geldige oplossing kan leiden. In dit onderzoek heb ik de prestaties van twee technieken onderzocht, als eerste is er de techniek van reified constraints die enkel gebruik maakt van de inferentie taken binnen het IDP systeem. De tweede techniek is een combinatie van IDP met die van Amilhastre.

Reified Constraints

De techniek van reified constraints biedt extra informatie en kan dienen als een helpende hand om de gebruiker door het selectieproces te loodsen. Deze simpele generische manier om niet-satisfieerbare regels op te sporen en te verklaren in natuurlijke taal heeft zeker zijn voordelen. De implementatiekost ligt zeer laag, maar de functionaliteit van deze techniek is helaas ook beperkt. Door de techniek te combineren met de unsatstructure is het mogelijk om niet-satisfieerbare regels efficiënt op te sporen. En door aan elke regel een uitleg in natuurlijk taal te koppelen (deze hoeft slechts éénmalig per regel opgesteld te worden) kan het systeem de gebruiker een beter begrijpbare ondersteuning bieden door precies te zeggen welke regel(s) er verbroken is (zijn) en te specificeren hoe dit zou kunnen gebeurd zijn. Maar deze uitleg is zeer statisch, dus als dezelfde regel door verschillende keuzes verbroken wordt zal de uitleg in beide gevallen dezelfde zijn. In vele gevallen is deze informatie duidelijk en specifiek genoeg, maar in de implementatie staat ook een voorbeeld vermeld waarbij de uitleg niet veel extra hulp biedt omdat de regel die ze beschrijft te algemeen is. Sinds het de bedoeling is van dit onderzoek om een zo algemeen mogelijke theorie te ontwikkelen kan de vraag gesteld worden hoe nuttig het is om deze techniek te gebruiken in combinatie met dit concept. Momenteel is de scope van opleidingen nog zéér beperkt en zelfs dan bestaan er al regels die te

algemeen zijn een duidelijk beeld te kunnen scheppen van wat er precies mis zou kunnen zijn. In een poging om de theorie nog algemener te maken zodat nog meer opleidingen beschreven kunnen worden, bleken de regels zo algemeen te worden dat een beschrijving in natuurlijke taal niet langer nuttig was. Dus waarschijnlijk zal er een afweging moeten gemaakt worden tussen een algemene theorie die zoveel mogelijk opleidingen kan beschrijven of duidelijke uitleg kunnen bieden ten koste van de uitdrukingskracht van de theorie.

Amilhastre

De tweede en laatste methode zoekt naar alle oplossingen die mogelijk zijn om terug een selectie te bekomen die satisfieerbaar is. Hiervoor moet er eerst een automaat gebouwd worden. De bouw hiervan is zeer kostelijk en neemt enige tijd in beslag, maar hoeft slechts éénmaal uitgevoerd te worden. De complexiteit compilatiefase is verwacht, en garandeert dat de bewerkingen van de inferentie methoden handelbaar zijn gedurende het selectieproces. De resultaten voor dit probleem zijn hier getuige van, de tijdsduur van de constructie zijn acceptabel voor een éénmalige offline compilatie. En de reactietijd van de inferentie methoden gedurende het selectieproces zijn ook zeer snel. /*INSERT RESULTS*/ Wellicht de belangrijkste opmerking is dat de bouw van de automaat mogelijk wordt gemaakt door gebruik te maken van inferentie technieken uit IDP. De automaat is een compacte representatie van alle oplossingen, om deze te kunnen opstellen moeten alle oplossingen gegenereerd worden. Dit kan in IDP simpelweg gedaan worden door model expansie uit te voeren en de resultaten op te sommen.

4.0.5 IDP + FSA

/*TITEL?*/ In de introductie werd er verwezen naar het werk van (Van Hertum Pieter et al., 2016), en meer specifiek naar de gebruikte evaluatiemethode. IDP werd geëvalueerd volgens negen criteria uit (Felfernig et al., 2014) die bedoeld zijn om een beter beeld te geven van de prestaties van configuratiesystemen. IDP bleek te voldoen aan de meeste van criteria, en in een vergelijking met tien andere bekende configuratiesystemen kwam IDP als een van de sterkste systeem uit de bus.

Nemen we even terug criterium (C3) 'Automated Consistency Maintenance', oftewel de aanwezigheid van een manier om consistentie te onderhouden tijdens het ontwikkelen van de theorie (a priori) zowel als gedurende het selectieproces (runtime). Het IDP systeem heeft hier slechts partiële ondersteuning voor. A priori is Automated Consistency Maintenance volledig ondersteund, en in theorie ook gedurende het selectieproces. Maar door computationele beperkingen is dit sterk afhankelijk van de omvang van het probleem. Als alternatief kan er beroep gedaan worden op benaderingen, maar die hebben helaas niet dezelfde garanties.

De methode volgens Amilhastre heeft een aantal garanties, waaronder ook 'Consistency Maintenance'. De kost van een selecties toevoegen of ongedaan maken is lineair met betrekking tot de grootte van de automaat. Hoewel deze grootte in het slechtste geval exponentieel is, is de grootte in de praktijk echter redelijk. Dit heeft

TABLE 4.2: IDP vs IDP+FSA

	IDP	IDP + FSA
C1	-	-
C2	✓	✓
C3	≈	✓
C4	✓	✓
C5	✓	✓
C6	✓	✓
C7	≈	≈
C8	✓	✓
C9	✓	✓

twee redenen, in geval van IC problemen zijn veel van de domeinwaarden onderling verwisselbaar en is de structuur van een probleem opgedeeld in subproblemen die min of meer onafhankelijk zijn van elkaar. De garantie van deze eigenschap is belangrijk, omdat het toevoegen van selecties en het verwijderen ervan rechtstreeks in verband staat met Consistency Maintenance. Door het toevoegen of verwijderen van selecties worden de kosten van de paden in de automaat aangepast (in tijd lineair m.b.t. de grootte ervan). Controleren of een selectie satisfieerbaar is (in deze context Consistency Maintenance genoemd) wordt gedaan op basis van deze kost en heeft een complexiteit van $O(1)$.

De combinatie van de twee zorgt er dus voor dat voldaan wordt aan voorwaarde C3.

/*C7?*/

Chapter 5

Conclusion

Proof of concept De eerste onderzoeksvraag die gesteld werd in dit onderzoek was de vraag of het mogelijk was om met behulp van IDP een theorie te ontwikkelen voor het ISP probleem en belangrijker nog of we efficiënt inferentie kunnen doen met deze theorie. De voordelen van de uitdrukingskracht van $FO(\cdot)$ zijn al vaker aangehaald Van Hertum Pieter et al. (2016) De Cat et al. (2014a) in het verleden. En voor het huidige probleem houden deze beweringen opnieuw stand, sinds ik met behulp van $FO(\cdot)$ erin geslaagd ben om een theorie te ontwikkelen waarin de regels van het ISP vervat zitten. Deze theorie is zelfs in staat om meerdere opleidingen binnen het domein van informatica en computerwetenschappen te beschrijven. In IDP en het concept van kennisbank-systemen is er een strikte scheiding tussen kennis en inferentie. De theorie wordt slechts éénmaal beschreven en deze laten toe om meerdere vragen te beantwoorden d.m.v. verschillende vormen van inferentie toe te passen op de theorie. Dit is enkel nuttig als deze inferentie technieken efficiënt en snel werken, en in dit geval snel genoeg om te kunnen voldoen aan de eisen van een interactief configuratie probleem. Het testen van deze technieken werd gedaan met behulp van de zelf ontwikkelde front-end applicatie. Voor alle gebruikte technieken bleken de reactiesnelheden te voldoen aan de vereisten van een interactief configuratieprobleem. Zelfs voor de meest complexe bewerkingen (bv. minimalisatie) boekt het IDP systeem goede resultaten. Dus met dit proof of concept wordt opnieuw de kracht van $FO(\cdot)$ getoond samen met de prestaties van de inferentie methoden binnen het paradigma van kennis representatie.

Conflict explanation Meerdere onderzoeken hebben de voordelen van declaratieve methoden Gelle and Weigel (1996) en specifiek die van KR-systemen De Cat et al. (2014a) Denecker and Vennekens (2008) Van Hertum Pieter et al. (2016) Vlaeminck et al. (2009) ten opzichte van imperatieve strategieën al aangehaald. Dit betekent niet dat een declaratieve aanpak op alle vlakken beter is, of dat alle vragen rond declaratieve systemen beantwoord zijn. Binnen het domein van conflict explanation zijn er reeds verschillende technieken ontworpen voor het zoeken naar, verklaren en oplossen van conflict situaties binnen IC problemen. Elke techniek hangt samen met zijn eigen concept van wat een oplossing juist is en hoe deze geformuleerd hoort te

worden. In deze paper heb ik een aantal interessante technieken geïmplementeerd en de resultaten ervan beschreven. De eerste, reified constraints maken enkel gebruik van de tools beschikbaar in IDP terwijl de tweede methode technieken combineert binnen IDP met die uit het werk van (Amilhastre et al., 2002). Reified constraints, is een techniek met lage implementatiekost waarmee verklaringen in natuurlijke taal kunnen gegeven worden voor regels die verbroken zijn. De duidelijkheid van de verklaringen blijkt sterk af te hangen van de theorie, en daarbij is de uitleg zeer statisch. Afhankelijk van het probleem kan overwogen worden om gebruik te maken van reified constraint. De laatste techniek tenslotte, gebruikt een automaat voor het berekenen van minimale oplossingen om de selectie terug satisfieerbaar te maken. De manier waarop deze automaat wordt gebouwd is zéér interessant omdat het gebruik maakt van model expansie, een inferentie techniek die ingebouwd zit in IDP. De resultaten van deze automaat zijn heel positief en het feit dat ze kan gebouwd worden met behulp van IDP biedt mogelijkheden voor de toekomst.

Chapter 6

Future Work

Voor een klein domein van opleidingen is het gelukt om een theorie te ontwerpen met behulp van $FO(\cdot)$. Natuurlijk is het aantal opleidingen binnen de K.U. Leuven aanzienlijk groter. Dus achterhalen of het mogelijk is om een theorie te ontwikkelen die om kan gaan met alle opleidingen, is werk voor de toekomst. Maar ik zou niet enkel zoeken naar een antwoord op dit probleem maar ook naar alternatieven zoeken, bijvoorbeeld één theorie per type opleiding. Bachelor opleidingen hebben vaak meer gemeen met andere bachelor opleidingen, dan met bijvoorbeeld master studies. Het zou zeker interessant zijn om te kijken wat de mogelijkheden hieromtrent zijn en voor- en nadelen die hiermee gepaard gaan.

De prestaties van de inferentie technieken van IDP voor het ISP probleem zijn positief en voldoen aan de vereisten van een IC probleem. De front-end is in staat om alle functionaliteit van de bestaande web applicatie aan te bieden met toevoeging van nieuwe functionaliteiten. Deze zijn *bijna* allemaal mogelijk gemaakt door de technieken die in IDP te vinden zijn. Deze succesvolle steekproef op een klein subdomein van opleidingen leidt mij tot de conclusie dat er meer mogelijk is. Hopelijk zijn deze resultaten een motivatie voor anderen om verder uit te zoeken wat de mogelijkheden zijn van IDP met betrekkingen tot het ISP probleem en andere (als niet alle) opleidingen aan de K.U. Leuven en misschien zelfs andere onderwijsinstellingen.

Het IDP systeem alleen volstond echter niet om alle functionaliteiten van de front-end te kunnen ondersteunen. Door gebruik te maken van de automaat die beschreven staat in het werk van Amilhastre et al. is het gelukt om de gewenste vorm van conflict explanation te implementeren. Opvallend hierbij is dat de bouw hiervan kan gebeuren op basis van model expansie in IDP. Ondertussen wordt er hard gewerkt aan een nieuwe versie van het IDP systeem. Gezien de voordelen van het gebruik van zo'n automaat zou het zeer interessant zijn om te zien of het werk van Amilhastre niet geïntegreerd kan worden in een toekomstige versie van het systeem. (Fargier and Vilarem, 2004) is een uitbreiding op het werk van Amilhastre en Vempaty. Fargier stelt het gebruik van Tree-driven automata voor, een nog compactere weergave waarbij de positieve eigenschappen van voorheen blijven gelden. En verder onderzoek zal antwoorden moeten bieden of dat eventueel ook mogelijk is

6. FUTURE WORK

voor deze uitbreiding.

Bibliography

- Jérôme Amilhastre, Hélène Fargier, and Pierre Marquis. Consistency restoration and explanations in dynamic csps-application to configuration. Artificial Intelligence, 135(1):199–234, 2002.
- Broes De Cat. Separating Knowledge from Computation: An FO (.) Knowledge Base System and its Model Expansion Inference. PhD thesis, PhD thesis, KU Leuven, Leuven, Belgium (May 2014), 2014.
- Broes De Cat, Bart Bogaerts, Maurice Bruynooghe, and Marc Denecker. Predicate logic as a modelling language: The idp system. arXiv preprint arXiv:1401.6312, 2014a.
- Broes De Cat, Bart Bogaerts, and Marc Denecker. Minisat (id) for satisfiability checking and constraint solving. 2014b.
- Marc Denecker and Joost Vennekens. Building a knowledge base system for an integration of logic programming and classical logic. In Logic Programming, pages 71–76. Springer, 2008.
- Hélène Fargier and Marie-Catherine Vilarem. Compiling csps into tree-driven automata for interactive solving. Constraints, 9(4):263–287, 2004.
- Alexander Felfernig, Lothar Hotz, Claire Bagley, and Juha Tiihonen. Knowledge-based configuration: From research to business cases. Newnes, 2014.
- Esther Gelle and Rainer Weigel. Interactive configuration using constraint satisfaction techniques. In PACT-96, pages 37–44, 1996.
- Barry O’callaghan, Barry O’sullivan, and Eugene C Freuder. Generating corrective explanations for interactive constraint satisfaction. In Principles and Practice of Constraint Programming-CP 2005, pages 445–459. Springer, 2005.
- B Van Hertum Pieter, Ingmar Dasseville, Gerda Janssens, and Marc Denecker. The kb paradigm and its application to interactive configuration. In Practical Aspects of Declarative Languages: 18th International Symposium, PADL 2016, St. Petersburg, FL, USA, January 18-19, 2016. Proceedings, volume 9585, page 13. Springer, 2016.

Nageshwara Rao Vempaty. Solving constraint satisfaction problems using finite state automata. In AAAI, pages 453–458, 1992.

Joost Vennekens. Lowering the learning curve for declarative programming: a python api for the idp system. arXiv preprint arXiv:1511.00916, 2015.

Hanne Vlaeminck, Joost Vennekens, and Marc Denecker. A logical framework for configuration software. In Proceedings of the 11th ACM SIGPLAN conference on Principles and practice of declarative programming, pages 141–148. ACM, 2009.

Johan Wittocx, Maarten Mariën, and Marc Denecker. The idp system: a model expansion system for an extension of classical logic. In Proceedings of the 2nd Workshop on Logic and Search, pages 153–165. ACCO, 2008.

Fiche masterproef

Student: Herbert Gorissen

Titel: The ISP Course Selection Puzzle

Nederlandse titel: The ISP Course Selection Puzzle

UDC: 621.3

Korte inhoud:

/*INSERT TEXT*/

Thesis voorgedragen tot het behalen van de graad van Master of Science in de ingenieurswetenschappen: computerwetenschappen, eg

Promotor: Prof. Gerda Janssens

Assessor:

Begeleider: Matthias van der Hallen