



CHALMERS



Learn You a Physics for Great Good

~~Using domain specific languages to learn physics~~

DAVID FRISK

Department of Some Subject or Technology
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2018

MASTER'S THESIS 2018:NN

An Informative Headline describing the Content of the Report

A Subtitle that can be Very Much Longer if Necessary

Erik Sjöström
Oscar



CHALMERS

Department of Some Subject or Technology

Division of Division name

Name of research group (if applicable)

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Gothenburg, Sweden 2018

An Informative Headline describing the Content of the Report
A Subtitle that can be Very Much Longer if Necessary
NAME FAMILYNAME

© NAME FAMILYNAME, 2018.

Supervisor: Name, Company or Department
Examiner: Name, Department

Master's Thesis 2018:NN
Department of Some Subject or Technology
Division of Division name
Name of research group (if applicable)
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Gothenburg
Telephone +46 31 772 1000

Cover: Wind visualization constructed in Matlab showing a surface of constant wind speed along with streamlines of the flow.

Typeset in L^AT_EX
Printed by [Name of printing company]
Gothenburg, Sweden 2018

An Informative Headline describing the Content of the Report
A Subtitle that can be Very Much Longer if Necessary
NAME FAMILYNAME
Department of Some Subject or Technology
Chalmers University of Technology

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

OBS: Sidmarginaler ändrade från 3 cm till 1 tum. Rätt eller fel?

Keywords: lorem, ipsum, dolor, sit, amet, consectetur, adipisicing, elit, sed, do.

Acknowledgements

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipisicing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Name Familyname, Gothenburg, Month Year

Innehåll

Figurer	xiii
Tabeller	xv
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Rapportens syfte	2
1.3 Projektets mål	2
2 Syfte	3
2.1 Frågeställningar	3
3 Teori	5
3.1 Domänspecifika språk	5
3.2 Haskell och funktionell programmering	5
3.3 Syntaxträd och deras evaluerings	5
3.4 Fysik vi behandlar och Fysik för ingenjörer	6
3.5 Hemsidan	6
4 Metod	7
4.1 Selektion av arbetsområden	7
4.2 Skapande av de områdena	7
4.2.1 Först områdena	7
4.2.2 Komposita områden	7
4.3 Hemsidan	8
5 Resultat	9
5.1 Läromaterialet (i sig)	9
5.1.1 Specifikt om DSL:erna	9
5.1.2 Specifikt om brödtexten	9
5.2 Hemsidan	9
5.3 Något om källkoden i sig?	9
5.4 Test	9
6 Diskussion	11
6.1 Metoddiskussion	11
6.2 Resultatdiskussion	11
6.2.1 Vad för slags områden är DSLs lämpligt att göra för?	11
6.2.2 Gör DSLs så att fysik blir enklare att förstå?	12

7	Slutsatser	13
8	Etik	15
	Bibliography	17
A	Bilaga λ	I

Figurer

Tabeller

1

Introduktion

1.1 Bakgrund

På civilingenjörsprogrammet Datateknik på Chalmers ingår fysikkursen *Fysik för ingenjörer*. Tentastatistiken för denna kurs är inte jättebra⁴. Vi tror att många studenter på datateknik (“datateknologer”) finner denna kurs svår eller ointressant, och att detta leder till att ungefär en tredjedel av kursdeltagarna får underkänt på tentamen.

Examinatorn för kursen “Fysik för ingenjörer, TIF085 (2016)” Åke Fäldt, tycker att studenter i allmänhet verkar ha svårt för att sätta upp egna modeller. De baserar sina mentala modeller helt eller delvis på intuition och felaktiga antaganden, istället för definitioner och bevisade satser som man är säker på gäller. Detta leder till att de tar genvägar som ofta är fel.

Sedan våren 2016 har kursen “Domain Specific Languages of Mathematics” (“DSLsofMath”) eller “Matematikens domänspecifika språk” givits som en valbar kurs på kandidatnivå för studenter på Chalmers och Göteborgs Universitet. År 2016 var Cezar Ionescu huvudföreläsare, och från 2017 är Patrik Jansson huvudföreläsare. Det direkta målet är att förbättra den matematiska utbildningen för datavetare och den datavetenskapliga utbildningen för matematiker, där den grundläggande idén bakom kursen är:

“[...] att uppmuntra studenterna att närma sig matematiska domäner från ett funktionellt programmeringsperspektiv: att ge beräkningsbevis (calculational proofs); att vara uppmärksamma på syntaxen för matematiska uttryck; och, slutligen, att organisera de resulterande funktionerna och typerna i domänspecifika språk.”⁶³

Konkret så presenterar kursen matematik så som derivator, komplexa tal och matriser ur ett funktionellt programmeringsperspektiv i Haskell. Dessa för studenterna bekanta verktyg används för att lösa matematiska problem så som modellering av syntax, evaluering till semantiska värden och datorassisterad bevisföring.

Även på MIT har en kurs inte helt olik DSLsofMath tidigare givits som berör både fysik och domänspecifika språk (“DSL”). “Classical Mechanics: A Computational Approach” gavs av Prof. Gerald Sussman och Prof. Jack Wisdom bl.a. år 2008.⁷ Denna kurs på avancerad nivå studerar de fundamentala principerna av klassisk mekanik med hjälp av beräkningsidéer för att precis formulera principerna av mekanik, med början i Lagranges ekvationer och avslut i perturbationsteori. I kursen används boken “Structure and Interpretation of Classical Mechanics” av Sussman, Wisdom och Mayer, vilken förklarar fysikaliska fenomen genom att visa datorprogram för att simulera dem, skrivna i språket Scheme.²

Utöver DSLsofMath-kursen har det även tidigare gjorts ett kandidatarbete om DSL här på Chalmers. Vårterminen 2016 utfördes kandidatarbetet “Programmering som undervisningsverktyg för Transformer, signaler och system. Utvecklingen av läromaterialet TSS med DSL” av fem studenter från Datateknik och Teknisk Matematik på Chalmers. Arbe-

tet bestod av utveckling av läromaterial med tillhörande programmeringskod, uppgifter och lösningar, som komplement till existerande kurser i signallära.⁵

Vår tanke med detta kandidatarbete är att, likt premissen bakom DSLsofMath och kandidatarbetet från 2016, med hjälp av ett bekant verktyg som Haskell angripa fysik på ett sådant sätt att ämnet blir både intressant och roligt för datateknologer, och därmed förhoppningsvis också enklare. Med hjälp av domänspecifika språk skrivna i Haskell för att modellera fysik, i.e. samma pedagogiska verktyg som används inom datakurser, tror vi att kopplingen mellan fysikkursen och datateknikprogrammet kan göras tydligare och lärandet kan underlättas. Förhoppningen är att bl.a. det kraftfulla typsystemet i Haskell ska hjälpa studenter att bygga mentala modeller som är korrekta och inte bygger på felaktiga intuitioner.

Projektet är relevant för datateknologer som läser en fysikkurs. Men det kan också bli relevant för en fysikstudent som är ute efter en inkörsport till funktionell programmering. Förhoppningsvis blir det också relevant för de som är intresserade av domänspecifika språk i stort, pedagoger och föreläsare inom de berörda områdena och kanske till och med programledningen som ser vår rapport som ett skäl att introducera innehåll av detta slag i till exempel fysikkursen.

För läsaren som inte är insatt i domänspecifika språk, kan det förklaras som ett språk konstruerat för ett specifikt område, en domän. Språket kan användas för att enklare uttrycka saker inom domänen, till exempel Newtons andra lag $F = m \cdot a$ än vad som är möjligt inom generella (programmerings) språk. För vidare läsning rekommenderas *DSL for the Uninitiated*.¹

1.2 Rapportens syfte

Rapportens syfte är att beskriva utvecklingen av läromaterialet, läromaterialet i sig samt den tekniska bakgrund som krävs för att förstå. Vi går även in på svårigheterna som stötts på under utvecklingen av läromaterialet, vilka delar av fysik som har lämpats sig väl, och vilka som har lämpat sig mindre väl.

1.3 Projektets mål

Projekets mål är att skapa ett roligt läromaterial som kombinerar fysik med tillhörande domänspecifika språk. Läromaterialet ska väcka intresse hos läsaren för fysik och inspirera till vidare studier. DSL:erna ska modellera utvalda fysikaliska områden och den tillhörande brödtexten ska förklara både DSL:erna i sig, fysik i sig samt kopplingen mellan dem.

Läromaterialet ska i slutändan bestå av en hemsida. Källkoden för projektet ska finnas fritt tillgängligt.

2

Syfte

Syftet med projektet är att skapa domänspecifika språk för fysik samt ett tillhörande läromaterial. Läromaterialet ska både förklara fysik och parallellerna med de domänspecifika språken. Förhoppningen är att väcka intresse för fysik hos datateknologer genom att presentera fysik från ett annat perspektiv.

Häftigt med todos

2.1 Frågeställningar

!! Frågor som vi ska både ställa och besvara.

- Går det att implementera fysik
- Kunde vi realisera vår initiala modeller
- Blir det ett bra läromaterial.
- Vad tyckte andra studenter
- Hur kan ett läromaterial för fysik med DSL se ut?

Example of binge writing.

Example of draft writing.

Normal mode.

3

Teori

3.1 Domänspecifika språk

Ett domänspecifikt programmeringsspråk är ett språk som är avgränsat till ett specifikt domän. Detta domän kan ta många former, det kan vara ett språk för att formatera text på en hemsida (HTML), det kan vara ett språk för att interagera med en databas (SQL), ett språk för att beskriva hur karaktärer ser ut (typsnitt). Användningsområden för dessa språk är väldigt begränsade men denna begränsning gör det möjligt att utveckla ett rikt och lättanvänt språk för just detta område.

Motsatsen till ett domänspecifikt språk är ett generellt språk (C, Java, Python) som är turingkomplett, vilket betyder att det kan uttrycka alla beräkningsbara problem i dem och även lösa dem givet tillräckligt med tid och minnestillgångar. Begränsningen med dessa generella språk är just deras egen generaliserbarhet, eftersom de har stöd för alla typer av beräkningar så blir både läsbarheten och användarvänligheten lidande.

Ett domänspecifikt språk kan antingen implementeras som ett fristående språk eller baddas in i ett redan existerande språk. De domänspecifika språk som utvecklats inom detta projekt är inbäddade i språket *Haskell*.

VARFÖR BLIR DET ENKLARE?

3.2 Haskell och funktionell programmering

Haskell är ett funktionellt programmeringsspråk som lämpar sig bra för att implementera ett domänspecifikt språk i. Anledningen till detta är den lätthet som man kan skapa nya datatyper och klasser för att representera grundstenarna i det nya språk, och även dess mönstermatchning som gör det möjligt att på enkelt sätt bryta isär komplexa datatyper för evaluering.

3.3 Syntaxträd och deras evaluering

???Osäker på om detta avsnitt är nödvändigt???

Ett typexempel på ett domänspecifikt språk är ett syntaxträd för algebraisk uttryck, här kodat i Haskell.

```
data Expr = Expr :+: Expr Expr :*: Expr Const Double VarX
```

```
exempel = (Const 7.0 :+: VarX) :*: ((VarX :+: Const 10.0) :*: VarX)
```

Ha med en bild på detta.

!!!Plus förklaring om evaluering!

3.4 Fysik vi behandlar och Fysik för ingenjörer

Fysik för ingenjörer är obligatorisk kurs för studenterna på det datatekniska programmet. Kursen täcker grundläggande fysikområden såsom mekanik, termodynamik och vågrörelselära. Det ingår även en del tillämpad matematik såsom vektorer och differentialkalkyl. Dessa områden ämnas att täckas in av de domänspecifika språken och det tillhörande läromaterialen.

3.5 Hemsidan

Programfilerna har skrivits i ett språk som kallas *literate haskell* som kombinerar vanlig Haskell-kod med brödtext till något som kan tolkas av en kompilator som två separata saker. *Pandoc* är ett program som används för att generera html-filer med läromaterialet som är den slutgiltiga produkt som finns tillgänglig på hemsidan.

4

Metod

Skapandet av läromaterialet har i grova drag haft tre faser. Först valdes olika arbetsområden ut, som enskilt gick att arbeta med. Sedan Skapades läromaterial för dessa områden. Till sist sammanfogades resultatet.

4.1 Selektion av arbetsområden

För att hitta områden att arbeta med studerades främst kursboken *Univeristy Physics*. Där lästes de kapitel som ingick i *Fysik för ingenjörer*. Sådant som verkade hade syntax som behövde förklaras, eller sådant som var svårt, eller sådant som var spännande valdes ut. De områden som hittats sorterades upp i grupper som var så fristående som möjligt för att kunna arbetas med på parallellt.

De områden som valdes ut blev

- Vektorer
- Enheter
- Momentan och genomsnitt
- Differentalkalkyl

4.2 Skapande av de områdena

4.2.1 Först områdena

Varje gruppmedlem valde varsitt område att arbeta med. Man började med att experimentera med DSL:et för att hitta bra sätt att representera området på, vad som var tydligt och lätthanterat i datorn.

Det skedde också en del Haskell-inläsning av nya områden, exempelvis typnivå-programmering, för att kunna göra DSL:er på bästa sätt.

När en tanke börjat formas så implementerades först DSL:et. När det till stora delar var klart började förklarande brödtext skrivas till det, främst för att förklara koden som skrivits.

När koden var färdig och kommenterad tillräckligt väl började brödtexten uppdateras för att även innehålla mer kopplingar till fysik.

4.2.2 Komposita områden

!! Områden/moduler soom bygger vidare på redan implementerade områden.

Stack, git kan säkert passa här för att beskriva hur vi samarbetade med sammanfogningen.

4.3 Hemsidan

!! Hur skrevs den? Kompilerades kontinuerligt.

5

Resultat

5.1 Läromaterialet (i sig)

En kombination av brödtext och DSL:er. De två är sammanvävda där fysik eller relaterad matematik presenteras för att sedan modelleras i DSL:er.

Områden som är behandlade är - Dimensioner - Vektorer - Analys - Och mer med tid att vi arbetar vidare...

5.1.1 Specifikt om DSL:erna

Avgränsade DSLer för separata områden. Modellerar olika saker snarare än som en uppgiftslösare.

Vilka moduler skapades och hur bra blev dom.

5.1.2 Specifikt om brödtexten

Lättsamma stilen och de roliga bilderna.

!!Blev en bra text?

5.2 Hemsidan

5.3 Något om källkoden i sig?

5.4 Test

!! Test på kaniner.

6

Diskussion

6.1 Metoddiskussion

Vi har kanske inte varit så strukturerade, utan bara valt ut något område på måfå som vi kände för, t.ex. valet av termodynamik.

Blev så för svårt att veta vad som DSL lämpligt för.

Största svårigheten var att välja områden som skulle passa bra för DSL. Som att famla i mörkret.

6.2 Resultatdiskussion

6.2.1 Vad för slags områden är DSLs lämpligt att göra för?

Analys känns som ett område där DSLs kan vara lämpligt. Likaså dimensioner och vektorer. Vad har dessa gemensamt?

Gemensamt för de ovanstående är att de är matematiska, har en fix struktur, rigoröst hur de fungerar och har data och operationer".

Orkar inte göra Latex tabell... | DSL / data | Ex operationer | |
| | Dimensioner | Multiplikation, division | | Vektorer | Skalärprodukt, vektorprodukt | | Analys, funktioner | Derivera, multiplicera |

Operationerna på datan resulterar också i ny data av samma slag (t.ex. vektorprodukt av två vektorer ger en ny vektor)

Varför gör detta dem lämpliga att göra DSLs för? För datan har en fix form. Och operation av data blir ny data som evalueras till någon av formerna.

Detta gör DSL till områdena lämpliga ur två synvinklar. Dels enkelt att göra det rent praktiskt i Haskell. Dels för att man med DSL:et strukturerat upp och tydliggjort all data och operationer som går att göra.

Skillnad på enkelt att göra rent tekniskt, och vad som är lämpliga DSLs för att underlätta förståelsen av något.

DSLs var svårare för lutande plan och termodynamik (och problemlösning i allmänhet). Vad har dessa gemensamt?

Gemensamt för dessa är att det finns teoretiska samband/ekvationer som relaterar olika egenskaper i problemet. T.ex. för det lutande planet ' $a = g \cdot \sin v$ ' är sambandet mellan ' a ' och ' v ' (och ' g ' som dock är en konstant bara). För termodynamik är det att t.ex. samband mellan inre energi, antal atomer i gasen och temperaturen.

Visst kan man modellera dessa samband. Men vad för nytta gör det? Problemlösning handlar om att känna till vilka samband som finns och tillämpa dem på olika sätt beroende på uppgift.

Man kan ju programmera en ekvationslösare, men den måste vara väldigt mekanisk av sig. Gör det kanske inte enklare för en själv att lösa problem.

Och vad är skillnaden mellan dessa två kategorier av områden?

Den viktiga skillnaden är att t.ex. analys har tydlig data och operationer medan problemlösning som lutande plan har ett gäng samband som man använder beroende på behov.

6.2.2 Gör DSLs så att fysik blir enklare att förstå?

Ex med lutande plan: man kan betrakta ett sådant problem som en samling ekvationer. Man har några kända värden och med hjälp av ekvationerna ska man hitta den sökta obekanta. Hjälper verkligen ett DSL till att man blir bättre på detta?

Med enheter, räcker det inte att förklara skillnaden mellan storheter, dimensioner och enheter på ett så grundligt sätt vi gjorde, utan att blanda in DSLs? Problemet i fysik för Data kanske är att det inte förklaras grundligt och mycket är underförsått. Behöver man ens förstå enheter grundligare för att klara fysik bättre?

Man kan också se det som att DSLs och denna extrakunskap vi presenterat är för att göra fysik intressant genom att visa på vad för kopplingar till programmering man kan göra, även om områdena vi behandlat inte är direkt de områden som man behöver förstå för att klara kursen. Projektet kan ses som ren kuriositet som kan vara intressant.

7

Slutsatser

Beskriv vad vi kom fram till i diskussionen. Varför är det svårt med vissa områden. Tips till dem som vill testa något liknande.

8

Etik

blablabla

Litteraturförteckning

- [1] Debasish Ghosh. DSL for the uninitiated. *Communications of the ACM*, 54, 2011.
- [2] Gerald Jay Sussman and Jack Wisdom. *Structure and Interpretation of Classical Mechanics*. The MIT Press, 2001.
- [3] Cezar Ionescu and Patrik Jansson. Domain-specific languages of mathematics: Presenting mathematical analysis using functional programming. In Johan Jeuring and Jay McCarthy, editors, *Proceedings of the 4th and 5th International Workshop on Trends in Functional Programming in Education, Sophia-Antipolis, France and University of Maryland College Park, USA, 2nd June 2015 and 7th June 2016*, volume 230 of *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*, pages 1–15. Open Publishing Association, 2016.
- [4] Johan Bowald (sida) and Gösta Johansson (exceldokument). Exam statistics at chalmers, [tif085] fysik för ingenjörer. <http://tenta.bowald.se/#/search/statistics/TIF085/chart>. Accessed 2018-01-30.
- [5] Jacob Jonsson, Peter Ngo, Cecilia Rosvall, Filip Lindahl, and Joakim Olsson. Programmering som undervisningsverktyg för transformer, signaler och system. utvecklingen av läromaterialet tss med dsl. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/243894/243894.pdf>, 2016. Accessed 2018-01-30.
- [6] Patrik Jansson and Cezar Ionescu. Domain specific languages of mathematics: Lecture notes. <https://github.com/DSLsofMath/DSLsofMath/tree/master/L/snapshots>. Accessed 2018-01-30.
- [7] Gerald Jay Sussman and Jack Wisdom. Classical mechanics: A computational approach. <https://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-620j-classical-mechanics-a-computational-approach-fall-2008/>. Massachusetts Institute of Technology. Accessed 2018-01-30.

A

Bilaga λ

Inläsning

- Identifikation av problemområden.
 - Kontakt med Åke Fäldt och DNS. Studera kursutvärderingar.
 - Reflektera över vad vi själva tyckt varit svåra områden då vi läst kursen.
- Studerande av existerande läromaterial, både inom ren fysik och liknande vårt material.
 - Fysikboken.
 - Åke Fäldts egna material.
 - Boken *Structure Interpretaton of Classical Mechanics*².
 - Kursboken till kursen *Matematikens domänspecifika språk*.
- Existerande implementationer.
 - OpenTA.
 - Hamilton.
 - MasteringPhysics.
- Tidigare forskning.
 - Cezar och Patriks 2015 forskningsartikel.
 - 2016 års kandidatarbete.
 - Artikeln *DSL for the Uninitiated*.
 - *Communicating Mathematics: Useful Ideas from Computer Science*

Implementation av domänspecifika språk

Vid implementationen av ett/flera domänspecifika språk behöver nedanstående punkter genomföras.

- Hitta relevanta grundtyper inom fysik, exempelvis sträcka och massa.
- Hitta relevanta komposittyper, exempelvis hastighet och tryck.
- Utförligt typsystem.
- Dimensionskontroll.
- Modellera fysikens syntax i språket.
- Pedagogiska syntaxträd.
- Kombinatorer och konstruktörer.
- Hålla våra typer polymorfa.

Skrivande av läromaterial

Vid skrivandet av läromaterialet kommer följande punkter ligga till grund.

- En gemensam vokabulär som fungerar när man skriver om både fysik och programmering (generics kontra polymorfism), och som gör det möjligt att prata om dem i samma mening utan att byta språk och på så sätt brygga det semantiska gapet mellan områdena.
- Övningar
 - Modellera ett fysikaliskt problem med vårt domänspecifika språk.
 - Lös ett "vanligt" fysikaliskt problem med hjälp av vårt domänspecifika språk.
 - Simuleringar i stil med *Bouncing Balls*.
 - Delar av fysiken vi inte behandlat lämnas som övning att själv implementera.
- Gå igenom allmän teori (t.ex. Newtons lagar, krafter som verkar, etc) tillsammans med en parallell utveckling av ett domänspecifikt språk.
- Materialet ska vara enkelt att ta till sig.
- Verkligen exponera det DSL som vi gemensamt bygger för att påvisa kopplingen mellan fysik och programmering.