

Learn You a Physics for Great Good

Using domain specific languages to teach physics

Björn Werner
Erik Sjöström
Johan Johansson
Oskar Lundström

6 februari 2018

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Syfte	2
3	Problem/Uppgift	2
4	Avgränsningar	3
5	Metod/Genomförande	3
6	Avslutning	4
7	Samhälleliga och etiska aspekter	4
8	Tidsplan	5

Referenser

Bilagor

1 Bakgrund

På civilingenjörsprogrammet Datateknik på Chalmers ingår fysikkursen *Fysik för ingenjörer*. Tentastatistiken för denna kurs är inte jättebra¹. 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.”²³

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 2008.⁴ Denna kurs på avancerad nivå studerar de fundamentala principerna av klassisk mekanik med hjälp av beräkningsidéer för att precist 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.⁵

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. Arbetet bestod av utveckling av läromaterial med tillhörande programmeringskod, uppgifter och lösningar, som komplement till existerande kurser i signallära.⁶

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*.⁷

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.

3 Problem/Uppgift

Slutprodukten är tänkt att bli ett läromaterial som med hjälp av domänspecifika språk förklarar koncept inom fysiken. Läromaterialet ska vara en brödtext varvat med programkod och exempel skrivet på en lättsam stil, i likhet med *Learn You a Haskell*⁸ som är ett läromaterial för Haskell. Vår tanke är att presentera fysik parallellt med att vi bygger upp domänspecifika språk för fysik. Vi kommer även i texten presentera fysikaliska problem och visa hur man kan modellera och lösa dem i de domänspecifika språk vi skapat tillsammans.

De uppgifter vi har framför oss är därmed:

- Hitta de områden inom *Fysik för ingenjörer* som datateknologer har svårt för.

- Inläsning av ...
 - ... fysik.
 - ... domänspecifika språk.
 - ... liknande projekt för att få inspiration.
- Skriva läromaterial och parallellt implementera egna domänspecifika språk.

Frågor som vi vill besvara när projektet är klart:

- Kan man skapa domänspecifika språk för fysik?
- Hur brett/djupt kan vi komma med våra domänspecifika språk?
- Kan man använda våra domänspecifika språk för att lära ut?
- Kan vi skapa ett läromaterial utifrån våra domänspecifika språk?

4 Avgränsningar

Projektet kommer enbart behandla den fysik som ingår i kursen *Fysik för ingenjörer*. Denna avgränsningen valdes dels för att det är så mycket fysik gruppmedlemmarna kan, dels för att det är den kursen detta projekt kan bli mest relevant för.

Fysik för ingenjörer behandlar grunderna inom de tre områdena mekanik (inklusive stelkroppsmekanik), termodynamik och vågrörelselära. Vi har valt att i första hand prioritera mekanik, vilket även innefattar tillämpad matematik i form av Euklidisk geometri och infinitesimalkalkyl. Senare, i mån av tid, har vi valt att även behandla termodynamik och vågrörelselära. Dessutom kommer de områden datateknologer haft svårt för prioriteras. Även om projektets direkta syfte inte är att förbättra tentastatistiken på *Fysik för ingenjörer*, är vår förhoppning att förståelsen för de svåra delarna ska bli bättre.

5 Metod/Genomförande

Som ett genomgående tema vill vi arbeta in återkoppling med Åke Fäldt och Patrik Jansson så att vi vet att vi håller oss på banan och inte gör det för svårt för oss själva eller potentiella studenter.

Den övergripande planen är att börja med att läsa in oss på fysik, domänspecifika språk och liknande projekt. Detta för att få en grundläggande uppfattning av hur projektet kan tänkas se ut. Därefter kommer läromaterialet att skrivas. Eftersom domänspecifika språk kommer presenteras invävt i läromaterialet kommer därför också de domänspecifika

språken skapas parallellt med skrivandet. Vi vet ännu inte hur vi bra kan fördela arbetet mellan gruppmedlemmarna. En möjlighet, beroende på tidsbehovet, är att en/två skriver om mekanik och en/två om termodynamik eller våglära. Under skrivandets gång kommer en del inläsning behöva göras parallellt. Det kan handla både om fysik och domänspecika språk, till exempel att jämföra vår implementation med likaratade implementationer.

För att hitta de områden datateknologer har problem med i *Fysik för ingenjörer* kommer vi prata med kursens föreläsare, med DNS (Datateknologsektionen på Chalmers) samt reflektera över de delar vi själva tyckte var svåra.

De primära källorna till inläsning av fysik kommer att vara kursboken *University Physics*⁹ samt föreläsarens egna material i form av anteckningar och övningsuppgifter. Till vår hjälp för att förstå hur man på ett bra sätt kan skapa domänspecika språk inom fysik har vi boken *Structure and Interpretation of Classical Mechanics*⁵.

Se bilaga λ för en mer detaljerad lista över hur vi tänkt lägga upp arbetet.

6 Avslutning

För att avsluta vårt projekt vill vi återkoppla med studenter inom data som både har läst fysikkursen och de som inte har läst den för att på så sätt få deras perspektiv. Detta kan även ge en fingervisning om hurvida vårt resultat är tillförlitligt. Lämpliga frågor är då:

- Tror du att detta hade gett dig ett annat perspektiv när du studerade fysik?
- Tror du att detta kommer att underlätta för dig när du studerar fysik?
- Hade det här hjälpt till att väcka intresset hos dig när du studerade fysik?
- Ser det roligt ut?
- Har vi missat något?
- Vad hade vi kunnat göra bättre?

I mån av tid så vill vi använda denna återkoppling för att förfinat vårt läromaterial, med den större förhoppningen att vi kan producera ett läromaterial som är bra nog för att publiceras.

7 Samhälleliga och etiska aspekter

En positiv etisk aspekt på projektet är att vi valt att prioritera de områden som varit svåra för datateknologer. Det ger med andra ord ett potentiellt nyttovärde för datateknologer som läser *Fysik för ingenjörer*.

En negativ etisk aspekt är att nyttovärdet enbart gynnar de som är bra på Haskell och funktionell programmering. För att kunna tillgodogöra sig den eventuella kunskapsvinning från detta projekt krävs det att man är bra på Haskell eftersom allting uttrycks i det programmeringsspråket.

I likhet med de flesta kunskapsinsamlade projekt, även något så ”oskyldigt” som matematik och grundläggande fysik, uppkommer frågan om i vilka syften kunskapen kan användas. Det läromaterial vi skriver är i sig inte farligt eller missgynnande för någon. Däremot kan det användas av andra i illvilliga syften. Detta är något man behöver vara medveten om, även om det inte är något som påverkar det dagliga arbetet.

Projektet kommer även publiceras som öppen källkod under GPL¹⁰. Detta kommer ge möjlighet för externa partner att inspektera, använda och bygga vidare på både vår kod, men också det tillhörande läromaterialet. Detta som en del i vår förhoppning att skapa ett läromaterial som är öppet för alla, oavsett bakgrund, ålder eller universitetstillhörighet. Dock blir denna öppenhet lidande av det faktum att vårt material kommer att släppas som en digital produkt och därmed kan den ej tas tillvara av individer utan tillgång till dator.

8 Tidsplan

Projektets milstolpar finns nedan. Datumet anger då milstolpen bör vara avklarad.

Milstolpar

- 2018-02-06 - Innehåll och medlemmar bestämt till halvtidsredovisning
- 2018-02-09 - **Planeringsrapport färdig och inlämnad**
- 2018-02-16 - Manus och presentationsmaterial till halvtidsredovisning skapat
- 2018-02-19 - Avslutat övergripande inläsning
- 2018-02-19 - Identifierat områden/moment som vi ska behandla
- 2018-02-23 - Genrepat halvtidsredovisning
- 2018-02-27 - **Halvtidsredovisning**
- 2018-03-02 - **Egen utvärdering på blankett till handledaren**
- 2018-03-23 - **Bestämma rapportspråk (sv/en)**
- 2018-04-17 - Skrivit klart läromaterialet
- 2018-05-01 - Första utkast till rapport
- 2018-05-08 - **Inlämning av poster för tryckning**

Referenser

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] C. Ionescu and P. Jansson, “Domain-specific languages of mathematics: Presenting mathematical analysis using functional programming,” in *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* (J. Jeuring and J. McCarthy, eds.), vol. 230 of *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*, pp. 1–15, Open Publishing Association, 2016.
- [4] G. J. Sussman and J. 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.
- [5] Gerald Jay Sussman and Jack Wisdom, *Structure and Interpretation of Classical Mechanics*. The MIT Press, 2001.
- [6] J. Jonsson, P. Ngo, C. Rosvall, F. Lindahl, and J. 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.
- [7] Debasish Ghosh, “DSL for the uninitiated,” *Communications of the ACM*, vol. 54, 2011.
- [8] Miran Lipovaca, *Learn You a Haskell for Great Good!: A Beginner’s Guide*. No Starch Press, 2011.
- [9] Roger A. Freedman, *University physics with modern physics*. Pearson Education Limited, 2015.
- [10] “GNU General Public License.” <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>.

Bilagor

Bilaga λ : Detaljerad lista över metod

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*⁵.
 - 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 domänspecika 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.