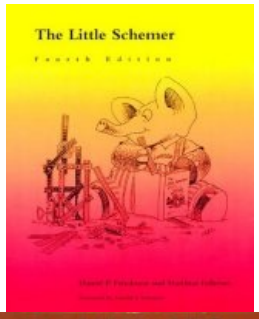
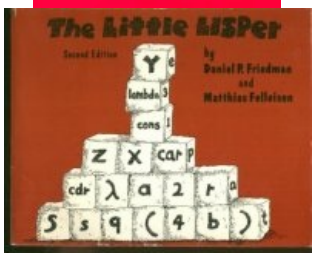
GTF - Great Teacher Friedman

写小人书的老顽童

Dan Friedman 是 Indiana 大学的教授，程序语言领域的创始人之一。他主要的著作《The Little Schemer》（前身叫《The Little Lisper》）是程序语言界最具影响力的书籍之一。现在很多程序语言界的元老级人物，当年都是看这本“小人书”学会了 Lisp/Scheme，才决心进入这一领域。



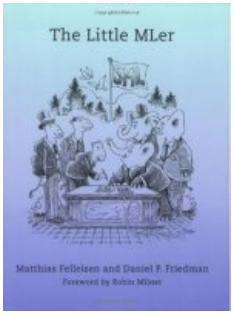


Friedman 对程序语言的理解可以说是世界的最高标准，很可惜的是，由于他个人的低调，他受到很多人的误解。很多人以为他只懂得 Scheme 这种“类型系统落后的语言”。有些人觉得他只顾自己玩，不求“上进”，觉得他的研究闭门造车，不“前沿”。我也误解过他，甚至在见面之前，根据这些书的封面，我断定他肯定是个年轻小伙。结果呢，第一次见到他的时候，他已经过了60岁大寿。

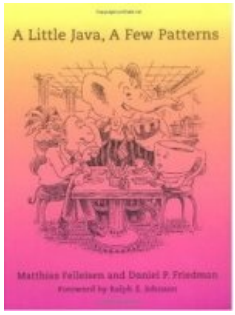
程序语言的研究者们往往追逐一些“新概念”，却未能想到很多这些新概念早在几十年前就被 Friedman 想到了。举个例子，Haskell 所用的 lazy evaluation 模型，最早就是他在 1976 年在与 David Wise 合写的论文“CONS should not Evaluate its Arguments”中提出来的。

虽然写了 The Little Schemer， 但 Friedman 的学识并不限于 Scheme。他不断地实验各种其它的语言设计，包括像 ML 一类的含有静态类型系统的函数式语言，逻辑式语言，面向对象语言，用于定理证明的语言等等。在每次的试验之后，他几乎都会写一本书，揭示这些语言最精要的部分。

觉得 ML 比 Scheme 先进很多的人们应该看看 Friedman 这本书：The Little MLer：



想要真正理解 Java 设计模式的人可以看看这本：A Little Java, A Few Patterns:



这些东西的优点和弱点仿佛在他心里都有数，他几乎总是指向正确的前进方向。

你知道些什么？

可惜的是，由于个人原因，Friedman 始终没有成为我正式的导师（他“超然物外”，几乎完全不关心自己的学生什么时候能毕业），但他确实是这一生中教会我最多东西的人。所以我想写一些关于他的小故事。也许你能从中看出一个世界级的教育者是什么样子的。我来 IU 之前一位师兄告诉我，Dan Friedman 就像指环王里的甘道夫 (Gandalf)，来了之后发现确实很像。

第一次在办公室见到 Friedman 的时候，他对我说：“来，给我讲讲你知道些什么？”我自豪地说：“我在 Cornell 上过研究生的程序语言课，会用 ML 和 Haskell，看过 Paul Graham 的 On Lisp，Peter Norvig 的 Paradigms of Artificial Intelligence Programming, Richard Gabriel 的一些文章……” 他看着我平静地笑了：“不错，你已经有一定基础……”

这么几年以后，我才发现他善良的微笑里面其实隐藏着难以启齿的秘密：当时的我是多么的幼稚。在他的这种循循善诱之下，我才逐渐的明白了，知识的深度是无止境的。他的水平其实远在以上这些人之上，可是出于谦虚，他不能自己把这话说出来。

反向运行

Dan Friedman 已经远远超过了退休年龄，却仍然坚持教学。他的本科生程序语言课程 C311 是 IU 的“星级课程”。我最敬佩的，其实是他那孩子般的好奇心和探索精神。几乎每一年的 C311，他都会发明不同的东西来充实课程内容。有时候是一种新的逻辑编程语言 (叫 miniKanren)，有时候是些小技巧 （比如把 Scheme 编译成 C 却不会堆栈溢出），等等。

Friedman 研究一个东西的时候总是全身心的投入，执着的热爱。自从开始设计一个叫 miniKanren 的逻辑编程语言，Friedman 多了一句口头禅：“Does it run backwards?”（能反向运行吗？）因为逻辑式的语言（像Prolog）的程序都是能“反向运行”的。普通程序语言写的程序，如果你给它一个输入，它会给你一个输出。但是逻辑式语言很特别，如果你给它一个输出，它可以反过来运行，给你所有可能的输入。但是 Friedman 真的走火入魔了。不管别人在讲什么，经常最后都会被他问一句：“Does it run backwards?”让你哭笑不得。

Friedman 有一个本领域的人都知道的“弱点”——他不喜欢静态类型系统 (static type system)。其实 Scheme 专家们大部分都不喜欢静态类型系统。为此，他深受“类型专家”们的误解甚至鄙视，可是他都从容对待之。

有一次在他的进阶课程 B621 上，他给我们出了一道题：用 Scheme 实现 ML 和 Haskell 所用的 Hindley-Milner 类型系统。这种类型系统的工作原理一般是，输入一个程序，它经过对程序进行类型推导（type inference），输出一个类型。如果程序里有类型错误，它就会报错。由于之前在 Cornell 用 ML 实现过这东西，再加上来到 IU 之后对抽象解释 (abstract interpretation) 的进一步理解，我很快做出了这个东西，而且比在 Cornell 的时候做的还要优雅。

他知道我做出来了，很高兴的样子，让我给全班同学（也就8，9个人）讲我的做法。当我自豪的讲完，他问：“Does it run backwards? 如果我给它一个类型，它能自动生成出符合这个类型的程序来吗？”我愣了，欲哭无泪啊，“不能……”他往沙发靠背上一躺，得意的笑了：“我的系统可以！哈哈！我当年写的那个类型系统比你这个还要短呢。我早就知道这些类型系统怎么做，可我就是不喜欢。哈哈哈哈……”

我后来对类型系统的进一步研究显示，Hindley-Milner 类型系统确实有很多不必要的问题，才导致了他不喜欢。他就是这样一个老顽童。他喜欢先把你捧上天，再把你打下来，让你知道天外有天 :-)

miniCoq

你永远想象不到 Dan Friedman 的思维的极限在哪里。当你认为他是一个函数式语言专家的时候，他设计了 miniKanren，一种逻辑式编程语言 (logic programming language)，并且写出 《The Reasoned Schemer》这样的书，用于教授逻辑编程。当你认为他不懂类型系统的时候，他开始捣鼓当时最热门的 Martin-Löf 类型理论，并且开始设计机器证明系统。而他做这些，完全是出于自己的兴趣。他从来不在乎别人在这个方向已经做到了什么程度，却经常能出乎意料的简化别人的设计。

有一次系里举办教授们的“闪电式演讲”(lightening talk)，每位教授只有5分钟时间上去介绍自己的研究。轮到 Friedman 的时候，他慢条斯理的走上去，说：“我不着急。我只有几句话要说。我不知道我能不能拖够5分钟……”大家都笑了。他接着说：“我现在最喜欢的东西是 Curry-Howard correspondence 和定理证明。我觉得现在的机器证明系统太复杂了，比如 Coq 有 nnnnn 行代码。我想在 x 年之内，简化 Coq，得到一个 miniCoq……”

miniCoq... 听到这个词全场都笑翻了。为什么呢？自己去联想吧。从此，“Dan Friedman 的 miniCoq” 成为了 IU 的程序语言学生茶余饭后的笑话。

但是 Firedman 没有吹牛。他总是说到做到。他已经写出一个简单的定理证明工具叫 JBob（迫于社会舆论压力，不能叫 miniCoq），而且正在写一本书叫 《The Little Prover》，用来教授最重要的定理证明思想。他开始在 C311 上给本科生教授这些内容。我看了那本书的初稿，获益至深，那是很多 Coq 的教材都不涉及的最精华的道理。它不仅教会我如何使用定理证明系统，而且教会了我如何设计一个定理证明系统。我对他说：“你总是有新的东西教给我们。每隔两年，我们就得重新上一次你的课！”

C311

当我刚从 Cornell 转学到 IU 的时候，Dan Friedman 叫我去上他的研究生程序语言课 B521。我当时以自己在 Cornell 上过程序语言课程为由，想不去上他的课。Friedman 把我叫到他的办公室，和蔼的对我说：“王垠，我知道你在 Cornell 上过这种课。我也知道 Cornell 是比 IU 好很多的学校。可是每个老师的教学方法都是不一样的，你应该来上我的课。我和我的朋友们在这里做教授，不是因为喜欢这个学校，而是因为我们的家人和朋友都在这里。”后来由于跟 Amr Sabry（我现在的导师）的课程 B522 时间重合，他特别安排我坐在本科生的 C311 的课堂上，却拿研究生课程的学分。后来发现，这两门课的内容基本没有区别，只不过研究生的作业要多一些。

在第一堂课上，他说了一句让我记忆至今的话：“《The Little Schemer》和《Essentials of Programming Languages》是这门课的参考教材，但是我上课从来不讲我的书里的内容。”刚一开始，我就发现这门课跟我在 Cornell 学到的东西很不一样。虽然有些概念，比如 closure，CPS，我在 Cornell 都学过，在他的课堂上，我却看到这些概念完全不同的一面，以至于我觉得其实我之前完全不懂这些概念！这是因为在 Cornell 学到这些东西的时候只是用来应付作业，而在 Friedman 的课上，我利用它们来完成有实际意义的目标，所以才真正的体会到这些概念的内涵和价值。

一个例子就是课程进入到没几个星期的时候，我们开始写解释器来执行简单的 Scheme 程序。然后我们把这个解释器进行 CPS 变换，引入全局变量作为”寄存器” (register)，把 CPS 产生的 continuation 转换成数据结构（也就是堆栈）。最后我们得到的是一个抽象机 (abstract machine)，而这在本质上相当于一个真实机器里的中央处理器（CPU）或者虚拟机（比如 JVM）。所以我们其实从无到有，“发明”了 CPU！从这里，我才真正的理解到寄存器，堆栈等的本质，以及我们为什么需要它们。我才真正的明白了，冯诺依曼体系构架为什么要设计成这个样子。后来他让我们去看一篇他的好朋友 Olivier Danvy 的论文，讲述如何从各种不同的解释器经过 CPS 变换得出不同种类的抽象机模型。这是我第一次感觉到程序语言的理论对于现实世界的巨大威力，也让我理解到，机器并不是计算的本质。机器可以用任何可行的技术实现，比如集成电路，激光，分子，DNA…… 但是无论用什么作为机器的材料，我们所要表达的语义，也就是计算的本质，却是不变的。

而这些还不是我那届 C311 全部的内容。后半学期，我们开始学习 miniKanren，一种他自己设计的用于教学的逻辑式语言 (logic programming language)。这个语言类似 Prolog，但是它把 Prolog 的很多缺点给去掉了，而且变得更加容易理解。教材是免费送给我们的《The Reasoned Schemer》。在书的最后，两页纸的篇幅，就是整个 miniKanren 语言的实现！我学得比较快，后来就开始捣鼓这个实现，把有些部分重新设计了一下，然后加入了一些我想要的功能。这样的教学，给了我设计逻辑式语言的能力，而不只是停留于一个使用者。这是学习 Prolog 不可能做到的事情，因为 Prolog 的复杂性会让初学者无从下手，只能停留在使用者的阶段。

我很幸运当初听了他的话去上了这门课，否则我就不会是今天的我。

独立思维

Dan Friedman 是一个不随波逐流，有独立思想的人。他的眼里容不下过于复杂的东西，他喜欢把一个东西简化到容得进几行程序，把相关的问 题理解得非常清楚。他的书是一种独特的“问答式”的结构，很像孔夫子或者苏格拉底的讲学方式。他的教学方式也非常独特。这在本科生课程 C311 里已经有一些表现，但是在研究生的课程 B621 里，才全部的显示出来。

我写过的最满意的一个程序，自动 CPS 变换，就是在 C311 产生的。在 C311 的作业里，Friedman 经常加入一些“智力题”（brain teaser），做出来了可以加分。因为我已经有一定基础，所以我有精力来做那些智力题。开头那些题还不是很难，直到开始学 CPS 的时候，出现了这么一道：“请写出一个叫 CPSer 的程序，它的作用是自动的把 Scheme 程序转换成 CPS 形式。”那次作业的其它题目都是要求“手动”把程序变成 CPS 形式，这道智力题却要求一个“自动”的——用一个程序来转换另一个程序。

我觉得很有意思。如果能写出一个自动的 CPS 转换程序，那我岂不是可以用它完成所有其它的题目了！所以我就开始捣鼓这个东西，最初的想法其实就是“模拟”一个手动转换的过程。然后我发现这真是个怪物，就那么几十行程序，不是这里不对劲，就是那里不对劲。这里按下去一个 bug，那里又冒出来一个，从来没见过这么麻烦的东西。我就跟它死磕了，废寝忘食几乎一星期。经常走进死胡同，就只有重新开始，不知道推翻重来了多少次。到快要交作业的时候，我把它给弄出来了。最后我用它生成了所有其它的答案，产生的 CPS 代码跟手工转换出来的看不出任何区别。当

然我这次我又得了满分（因为每次都做智力题，我的分数总是在100以上）。

作业发下来那天下课后，我跟 Friedman 一起走回 Lindley Hall（IU 计算机系的楼）。半路上他问我：“这次的 brain teaser 做了没有。”我说：“做了。这是个好东西啊，帮我把其它作业都做出来了。”他有点吃惊，又有点将信将疑的样子：“你确信你做对了？”我说：“不确信它是完全正确，但是转换后的作业程序全都跟手工做的一样。”走回办公室之后，他给了我一篇30多页的论文 “Representing control: a study of the CPS transformation”，作者是他的好朋友 Olivier Danvy 和 Andrzej Filinski。然后我才了解到，这是这个方向最厉害的两个人。正是这篇论文，解决了这个悬而不决十多年的难题。其实自动的 CPS 转换，可以被用于实现高效的函数式语言编译器。Princeton 大学的著名教授 Andrew Appel 写了一本书叫《Compiling with Continuations》，就是专门讲这个问题的。Amr Sabry（我现在的导师）当年的博士论文就是一个比 CPS 还要简单的变换（叫做 ANF）。凭这个东西，他几乎灭掉了这整个 CPS 领域，并且拿到了终身教授职位。在他的论文发表10年之内也没有 CPS 的论文出现。

Friedman 啊，把这样一个问题作为“智力题”，真有你的！我开玩笑地对他说：“我保证，我不会把这个程序开源，不然以后你的 C311 学生们就可以拿来作弊了。”回到家，我开始看那篇 Danvy 和 Filinski 的论文。这篇 1991 年的论文的想法，是从 1975 年一篇 Gordon Plotkin 的论文的基础上经过一系列繁琐的推导得出来的，而它最后的结果几乎跟我的程序一模一样，只不过我的程序可以处理更加复杂的 Scheme，而不只是 lambda calculus。我之前完全不知道 Plotkin 的做法，从而完全没有收到他的思想的影响，直接就得到了最好的结果。这是我第一次认识到自己头脑的威力。

第二个学期，当我去上 Friedman 的进阶课程 B621 的时候，他给我们出了同样的题目。两个星期下来，没有其它人真正的做对了。最后他对全班同学说：“现在请王垠给大家讲一下他的做法。你们要听仔细了哦。这个程序价值100美元！”

下面就是我的程序对于 lambda calculus 的缩减版本。我怎么也没想到，这短短 30 行代码耗费了很多人 10 年的时间才琢磨出来。

```
(define cps
  (lambda (exp)
    (letrec
        ([trivs '(zero? add1 sub1)]
         [id (lambda (v) v)]
         [C~ (lambda (v) `(k ,v))]
         [fv (let ((n -1))
               (lambda ()
                 (set! n (+ 1 n))
                 (string->symbol (string-append "v" (number->string n)))))]
         [cps1
          (lambda (exp C)
            (pmatch exp
              [,x (guard (not (pair? x))) (C x)]
              [(lambda (,x) ,body)
               (C `(lambda (,x k) ,(cps1 body C~)))]
              [(,rator ,rand)
               (cps1 rator
                     (lambda (r)
                       (cps1 rand
                             (lambda (d)
                               (cond
                                [(memq r trivs)
                                 (C `(,r ,d))]
                                [(eq? C C~)         ; tail call
                                 `(,r ,d k)]
                                [else
                                 (let ([v* (fv)])
                                   `(,r ,d (lambda (,v*) ,(C v*))))]))))]))])
      (cps1 exp id))))
```

而这还不是 B621 的全部，每一个星期 Friedman 会在黑板上写下一道很难的题目。他不让你看书或者看论文。他有时甚至不告诉你题目里相关概念的名字，或者故意给它们起个新名字，让你想查都查不到。他要求你完全靠自己把这些难题解出来，下一个星期的时候在黑板上给其它同学讲解。他没有明确的评分标准，让你感觉完全没有成绩的压力。

这些题目包括一些很难的问题， 比如 church numeral 的前驱 (predecessor)。这个问题，当年是 Stephen Kleene （图灵的学长） 花了三个月冥思苦想才做出来的。不幸的是我在 Cornell 就学到了 Kleene 的做法，造成了思维的定势，所以这个训练当时对我来说失去了意义。而我们班上却有一个数学系的同学，出人意料的在一个星期之内做出了一个比 Kleene 还要简单的方法。他的完整的代码（用传统的 lambda calculus 语法表示）如下：

```
λn w z. ((n λl h. h (l w)) (λd.z)) (λx.x)
```

其它的问题包括从 lambda calculus 到 SKI combinator 的编译器，逻辑式（可逆）CPS 变换，实现 Hindley-Milner 类型系统，等等。我发现，就算自认为明白了的东西，经过一番思索，认识居然还可以更进一步。

当然，重新发明东西并不会给我带来论文发表，但是它却给我带来了更重要的东西，这就是独立的思考能力。一旦一个东西被你“想”出来，而不是从别人那里 “学”过来，那么你就知道这个想法是如何产生的。这比起直接学会这个想法要有用很多，因为你知道这里面所有的细节和犯过的错误。而最重要的，其实是由此得到的直觉。如果直接去看别人的书或者论文，你就很难得到这种直觉，因为一般人写论文都会把直觉埋藏在一堆符号公式之下，让你看不到背后的真实想法。如果得到了直觉，下一次遇到类似的问题，你就有可能很快的利用已有的直觉来解决新的问题。

而这一切都已经发生在我身上。比如在听说 ANF 之后，我没有看 Amr Sabry 的论文，只把我原来的 CPSer 程序改了一点点，就得到了 ANF 变换，整个过程只花了十几分钟。而在 R. Kent Dybvig 的编译器课程上，我利用 CPS 变换里面的直觉，改造和合并了 Dybvig 提供的编译器框架的好几个 pass，使得它们变得比原来短小好几倍，却生成更好的代码。

现在我仍然是这样，喜欢故意重新发明一些东西，探索不止一个领域。这让我获得了直觉，不再受别人思想的限制，节省了看论文的时间，而且多了一些乐趣。一个问题，当我相信自己能想得出来，一般都能解决。虽然我经常不把我埋头做出来的东西放在心上，把它们叫做“重新发明”(reinvention)，但是出乎意料的是，最近我发现这里面其实隐藏了一些真正的发明。我准备慢慢把其中一些想法发掘整理出来，发表成论文或者做成产品。

俗话说“给人以鱼，不如授人以渔。” 就是这个道理吧。Dan Friedman，谢谢你教会我钓鱼。