

丘奇和图灵

丘奇 (Alonzo Church) 和图灵 (Alan Turing) 是两位对计算机科学具有最大影响力的人物，然而他们却具有非常对立的观点和相差很多的名气。在我长达16年的计算机科学生涯中，总是感到自己的思想反反复复的徘徊于这两个“阵营”之间。丘奇代表了“逻辑”和“语言”，而图灵代表着“物理”和“机器”。在前面的8年中，我对丘奇一无所知，而在后面的8年中，我却很少再听到图灵的名字。他们的观点谁对谁错，是一个无法回答的问题。完全投靠丘奇，或者完全投靠图灵，貌似都是错误的做法。这是一种非常难说清楚的，矛盾的感觉，但是今天我试图把自己的感悟简要的介绍一下。

丘奇与图灵之争

想必世界上所有的计算机学生都知道图灵的大名和事迹，因为美国计算机学会 (ACM) 每年都会颁发“图灵奖”，它被誉为计算机科学的最高荣誉。大部分的计算机学生都会在某门课程（比如“计算理论”）学习“图灵机”的原理。然而，有多少人知道丘奇是什么人，他做出了什么贡献，他与图灵是什么样的关系呢？我想恐怕不到一半的人吧。

如果你查一下[数学家谱图](#)，就会发现丘奇其实是图灵的博士导师。然而从 Andrew Hodges 所著的《[图灵传](#)》，你却可以看到图灵的心目中仿佛并没有这个导师，仿佛自己的“全新发明”应得的名气，被丘奇抢走了一样（注意作者的用词：robbed）。事实到底是怎样的，恐怕谁也说不清楚。我只能说，貌似计算机科学从诞生之日开始就充满了各种“宗教斗争”。

虽然现在图灵更加有名，然而在现实的程序设计中，却是丘奇的理论在起着绝大部分的作用。据我的经验，丘奇的理论让很多事情变得简单，而图灵的机器却过度的复杂。丘奇所发明的 lambda calculus 以及后续的工作，是几乎一切程序语言的理论基础。而根据老一辈的计算机工程师们的描述，最早的计算机构架也没有受到图灵的启发，那是一些电机工程师完全独立的工作。然而有趣的是，继承了丘奇衣钵的计算机科学家们拿到的那个大奖，仍然被叫做“图灵奖”。我粗略的算了一下，在迄今所有的图灵奖之中，程序语言的研究者占了近三分之一。

从图灵机到 lambda calculus

图灵机永远的停留在了理论的领域，绝大多数被用在“计算理论” (Theory of Computation) 中。计算理论其实包括两个主要概念：“可计算性理论” (computability) 和“复杂度理论” (complexity)。这两个概念在通常的计算理论书籍（比如 Sipser 的经典教材）里，都是用图灵机来叙述的。在学习计算理论的时候，绝大多数的计算机学生恐怕都会为图灵机头痛好一阵子。

然而在做了研究生“计算理论”课程一个学期的 TA 之后我却发现，其实几乎所有计算理论的原理，都可以用 lambda calculus，或者程序语言和解释器的原理来描述。所谓“通用图灵机” (Universal Turing Machine)，其实就是一个可以解释自己的解释器，叫做“元解释器” (meta-circular interpreter)。在 IU 的程序语言理论课程中，我最后的项目就是一个 meta-circular interpreter。这个解释器能够完全的解析它自己，而且可以任意的嵌套（也就是用它自己来解释它自己，再来解释它自己……）。然而我的“元解释器”却是基于 lambda calculus 的，所以我后来发现了一种方法，可以完全的用 lambda calculus 来解释计算理论里面几乎所有的定理。

我为这个发现写了两篇博文：[《A Reformulation of Reducibility》](#)和[《Undecidability Proof of Halting Problem without Diagonalization》](#)。我把 Sipser 的[计算理论课本](#)里面的几乎整个一章的证明都用我自己的这种方式改写了一遍，然后讲给上课的学生。因为这种表示方法比起通常的“图灵机+自然语言”的方式简单和精确，所以收到了相当好的效果，好些学生对我说有一种恍然大悟的感觉。

我把这一发现告诉了我当时的导师 Amr Sabry。他笑了，说这个他早就知道了。他推荐我去看一本书，叫做[《Computability and Complexity from a Programming Perspective》](#)，作者是大名鼎鼎的 Neil Jones (他也是“[Partial Evaluation](#)”这一重要概念的提出者)。这本书不是用图灵机，而是一种近似于 Pascal，却又带有 lambda calculus 的一些特征的语言（叫做“WHILE 语言”）来描述计算理论。用这种语言，Jones 不但轻松的证明了所有经典的计算理论定理，而且能够证明一些使用图灵机不能证明的定理。

我曾经一直不明白，为什么可以如此简单的解释清楚的事情，计算理论需要使用图灵机，而且叙述也非常的繁复和含糊。由于这些证明都出于资深的计算理论家们之手，让我不得不怀疑自己的想法里面是不是缺了点什么。可是在看到了 Jones 教授的这本书之后，我倍感欣慰。原来一切本来就是这么的简单！

后来从 CMU 的教授 Robert Harper 的一篇博文[《Languages and Machines》](#)中，我也发现 Harper 跟我具有类似的观点，甚至更加极端一些。他强烈的支持使用 lambda calculus，反对图灵机和其他一切机器作为计算理论的基础。

从 lambda calculus 到电子线路

当我在 2012 年的 POPL 第一次见到 Neil Jones 的时候，他跟我解释了许多的问题。当我问到他这本书的时候，他对我说：“我不推荐我的书给你，因为大部分的人都觉得 lambda calculus 难以理解。”Lambda calculus 难以理解？我怎么不觉得呢？我觉得图灵机麻烦多了。然后我才发现，由于经过了这么多年的研究之后，自己对 lambda calculus 的理解程度已经到了深入骨髓的地步，所以我已经全然不知新手对它是什么样的感觉。原来“简单”这个词，

在具有不同经历的人头脑里，有着完全不同的含义。

所以其实 Jones 教授说的没错，lambda calculus 也许对于大部分人来说不合适，因为对于它没有一个好的入门指南。Lambda calculus 出自逻辑学家之手，而逻辑学家们最在行的，就是把很简单的“程序”用天书一样的公式表示出来。这难怪老一辈的逻辑学家们，因为他们创造那些概念的时候，计算机还不存在。但是如果现在还用那一堆符号，恐怕就有点落伍了。大部分人在看到 beta-reduction, alpha-conversion, eta-conversion, ... 这大堆的公式的时候，就已经头痛难忍了，怎么还有可能利用它来理解计算理论呢？

其实那一堆符号所表示的东西，终究超越不了现实里的物体和变化，最多不过再幻想一下“多种未来”或者“时间机器”。有了计算机之后，这些符号公式，其实都可以用数据结构和程序语言来表示。所以 lambda calculus 在我的头脑里真的很简单。每一个 lambda 其实就像是一个电路模块。它从电线端子得到输入，然后输出一个结果。你把那些电线叫什么名字根本不重要，重要的是同一根电线的名字必须“一致”，这就是所谓的“alpha-conversion”的原理.....不在这里多说了，如果你想深入的了解我心目中的 lambda calculus，也许可以看看我的另一篇博文《[怎样写一个解释器](#)》，看看这个关于类型推导的[幻灯片](#)的开头，或者进一步，看看如何推导出 [Y combinator](#)，或者看看《[What is a program?](#)》。你也可以看看 Matthias Felleisen 和 Matthew Flatt 的《[Programming Languages and Lambda Calculi](#)》。

所以，也许你看到了在我的头脑里面并存着丘奇和图灵的影子。我觉得丘奇的 lambda calculus 是比图灵机简单而强大的描述工具，然而我却又感染到了图灵对于“物理”和“机器”的执着。我觉得逻辑学家们对 lambda calculus 的解释过于复杂，而通过把它理解为物理的“电路元件”，让我对 lambda calculus 做出了更加简单的解释，把它与“现实世界”联系在了一起。



所以到最后，丘奇和图灵这两种看似矛盾的思想，在我的脑海里得到了和谐的统一。这些精髓的思想帮助我解决了许多的问题。感谢你们，计算机科学的两位鼻祖。