

计算能力的摩尔定律*

姬扬[†]

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

2022-01-13收到

[†] email: jiyang@semi.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20220509

现在的中学不讲计算(加减乘除不算的),大学前两年基本上也不涉及计算。很多大学生,包括理工科的大二学生,并不了解现代计算的威力,也不理解我们为什么要强调稳定性和半定量分析。

我们都听说过“摩尔定律”——信息处理能力每两年翻一番(也许还更快一些),但是很多人并不真的理解这种“指数增长”有多厉害,即使是理工科的大学生,也许还包括研究生,并不知道现代计算的威力。

我们举个例子来说明。原子弹

涉及的计算工作,基本上是靠一群人用手摇计算器摇出来的,那时候还没有电子计算机。第一台通用电子计算机ENIAC在1946年投入使用(图1),它使用了大约2万根真空三极管,占用了一间大房子(167 m²),耗电150 kW,计算能力仅为每秒钟5000次加减法(20位的十进制数)。这已经很了不起了,没有它,氢弹只能停留在泰勒的脑海里,是完全不可能实现的。

前几天看到文章介绍中国“氢弹之父”于敏为我国研制氢弹做出的贡献^[1],一个关键时刻是1965年9

月底开始的“百日会战”:

“1965年9月,理论部决定由于敏副主任率领13研究室的一部分研究人员到上海华东计算技术研究所出差,利用该所的J501计算机(运算速度为每秒5万次),完成加强型核航弹的优化设计任务。邓稼先主任要求去上海出差的人员在国庆节前赶到上海,以便利用华东计算技术研究所国庆节假期期间空出的全部机器时,集中突击。4个组的科研人员 and 为数不多的科研辅助人员共50多人参加此次任务。

9月27日,队伍抵达上海。创造

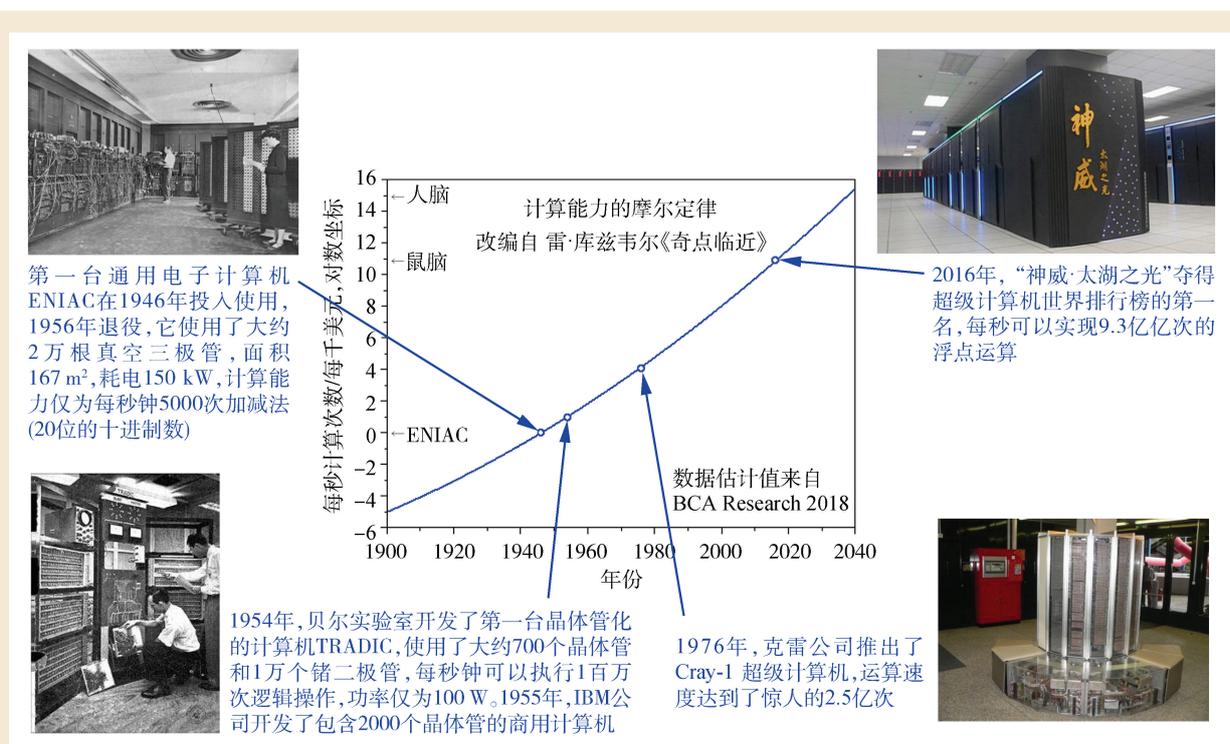


图1 计算能力也服从摩尔定律。从1900年到2020年,每秒钟的计算次数(每千美元成本)增加了大约20个数量级。以1946年投入使用的通用电子计算机ENIAC作为基准

* 本文首发在科学网博客,题目是《现代计算的威力》,刊登时做了补充修改。



图2 价格低廉的64位4核的微处理器

历史的“百日会战”开始了。”

每秒钟5万次运算，会战100天，满打满算也不到5千亿次运算。如果考虑到检查和纠错等必要时间，可能只有两三千亿次运算。这在当时是非常大的计算量，必须到上海才能完成。对于平时的工作，根据于敏的回忆是这样的^[2]：

“对比前苏联、美国，中国造氢弹可以称为是‘穷人’造氢弹。那时只有一台计算机，还是与研制原子弹的部门共同使用，每周使用时间只有约十个小时，大部分时间是晚上。所以，只有复杂的问题才会使用计算机，平时都是使用算盘、计算尺等简陋的工具。”

5千亿次运算听起来很可怕，但是在60年后的今天看来，根本就不算什么。我在自己的电脑上使用SciLab软件计算，每秒钟可以做300万次运算。百日会战的计算量，我只要一两天就能完成。我的电脑主要是用来办公的，平时只是上网、看文章和写报告，SciLab也不是为了计算而优化的，而且只能用到CPU的很少一部分。我请一位同事吴晓光老师用他的计算机(win10系统，CPU i7-9700，3 GHz，2019年购买)做了尝试，用Fortran程序可以做到每秒钟12亿次浮点运算——速度是于敏计算机的2万倍还不止。也就是说，当年“百日会战”的计算量，现在最多只需要7分钟。并且吴老师的计算机有8个核，程序

只能用1个核。也就是说，如果全部用上的话，1分钟都用不了。

吴老师的电脑并不是很高端，大概1万元左右。但是，这样的一台计算机，几分钟就能完成当年“百日会战”的计算。这还不算啥。博主刘洋老师给我看了他买的一台采用国产CPU的电脑，每秒钟0.8 T OPS(操作次数)，也就是每秒8000亿次运算——这不是数学运算(只是操作次数，一个数学运算可能包括几次操作)，但是折算成浮点运算(浮点数的数学运算)，应该也有几十亿几百亿次了。这样一个处理器(RADXA ROCK3 Model A, 64-bit quad core Cortex-A55 processor，如图2所示)，只要245元！

且慢，这个玩意儿，还是有点贵了。其实你不用买，完全可以租一个。现在有很多“超算”，也就是超级计算机，它们的计算能力更强，价格更便宜，而且还不用自己维护。简单地说，超算就是很多CPU(“核”)拼起来的，每个核的计算能力都比吴老师的电脑更强(至少比他8核里的任何一个都要强)。而且更妙的是，使用价格比刘老师的电脑还便宜。

每个超级计算机里有多少个这样的“核”呢？不是一千个，不是一万个，甚至不是一百万个，而是大约一亿个！以“神威·太湖之光”为例，2016年当它夺取超算世界冠军时，计算能力是每秒钟9.3亿亿次。现在已经5年过去了，它有进步吗？2021年公布的超算世界冠军是日本的“富岳”，每秒钟45亿亿次。但是，一些大型超级计算机没有参赛(没有公布数据)。我在微信公众号“风云之声”里看到，英文媒体报道说^[3]，中国的“神威·太湖之光”和“天河三号”的运算能力都已经达到了每秒钟100亿亿

次——这就是所谓的“E级计算机”(1E=每秒钟100亿亿次)。这是什么概念呢？“神威·太湖之光”可以为10亿中国人每秒钟提供10亿次运算，每个人分摊到的计算能力是当年于敏计算机的2万倍！相比于1946年投入使用的第一台通用电子计算机ENIAC，在相同的成本下，我们现在的计算能力已经增加了大约15个数量级，也就是一千万亿倍！

这样的超算用起来贵不贵呢？其实还行。每个“核时”大概1毛钱，即每个“核”用1个小时只要1毛钱。你要是使用的话，就会知道，这基本上就是用电的价钱。也就是说，如果你满足于比于敏的计算速度快2万倍，那么“百日会战”的计算量大概只需要1个“核”算上几分钟，折合下来的计算费用正好是1分钱。俗话说得好，一分钱难倒英雄汉！(现在的)一分钱真的难倒了(当年的)英雄汉！

科技的进步让我们拥有了前所未有的强大的计算能力。但是话说回来，当年的英雄使用(现在看起来可怜的)计算机核算弹，现在我们的教学还不能充分利用计算能力的进步，很多人用(当年完全无法想象的)计算机上网打游戏，这又是怎么样的一种反差呢？

参考文献

- [1] 应阳君,李绍孟.现代物理知识.2014,26(4):39
- [2] 于敏回忆造氢弹:复杂的问题才会使用计算机,平时使用算盘计算尺.<https://www.163.com/dy/article/GDR9D6MU0-5373VK2.html>
- [3] Hemsoth N. Chins Has Already Reached Exascale-On Two Separate System,2021,10,26. <https://www.nextplatform.com/2021/10/26/china-has-already-reached-exascale-on-two-separate-systems/>