

# 关于计算的报告

作者：郭惠昀

学号：1500012443

指导老师：陈斌

(北京大学地球与空间科学学院 2015 级本科 5 班)

## 摘要：

DNA 计算是一种模拟生物分子 DNA 的结构并借助于分子生物技术进行计算的新方法，它开创了以化学反应作为计算工具的先例，为 NP-完全问题的解决提供了一种全新的途径，具有广阔的应用前景 DNA 计算的两个主要特点是计算的高度并行性和巨大的信息存储容量。

## 关键词：

DNA 计算；遗传算法；DNA 计算机；分子计算软计算

## 一、DNA 算法发展史

自 1994 年伦纳德·阿德曼在《科学》期刊上发表了第一篇关于 DNA 分子算法的开创性文章<sup>1</sup>以来，DNA 计算迅速成为活跃的研究领域。阿德曼通过生化方法求解了七个结构点的 HPP（汉密尔顿问题）实例，显示了用 DNA 进行计算的可行性。就在阿德曼实验成功后不久，利普顿等<sup>2</sup>很快地提出了基于 DNA 模型的 DNA 算法，它是求解一类著名的 NP 完全问题。阿德曼猜想：不仅 NP 类问题，甚至是通用性问题，有可能在 DNA 分子计算上得到有效的 DNA 算法。

## 二、DNA 算法基础原理

DNA 的计算机理 DNA 算法解决计算问题的基本思想是：利用 DNA 特殊的双螺旋结构和碱基互补配对原则对问题进行编码，把要运算的对象映射成 DNA 分子链，在 DNA 溶液的试管里，在生物酶的作用下，生成各种数据池，然后按照一定的规则将原始问题的数据运算高度并行地映射成 DNA 分子链的可控的生化过程。最后，利用分子生物技术如聚合酶链反应。PCR、聚合重叠放大技术、POA、超声波降解、亲和层析、克隆、诱变、分子纯化、电泳、磁珠分离等，破获运算结果。DNA 的数学机理从 DNA 的原理来看，它与数学操作非常类似。

---

<sup>1</sup> Adleman L M. Molecular computation of solutions to combination problems. Science 1994 266(11): 1021-1023

<sup>2</sup> Lipton R J. DNA solution of hard computational problems. Science 1995 268(28): 542-545

DNA 的单链可看作由四个不同符号 A、G、C 和 T 组成的串。它在数学上就像计算机中的编码“0”和“1”一样，可表示成四个字母的集合 {A, G, C, T} 来译码信息。DNA 串可作为译码信息。酶可看作模拟在 DNA 序列上简单的计算。不同的酶相当于作用在 DNA 串上的不同的算子，如限制内核酸酶可作为分离算子；连接酶可作为连接算子，聚合酶可作为复制算子，外核酸酶可作为删除算子。

利普顿紧接着将阿德曼的结果推广到解决任意的 NP 问题。他的无限制模型中应用了提取合并删除和放大等分子操作。他还显示了如何用 DNA 实验解决计算机科学中的满意问题 SAT。SAT 是一个著名的 NP 问题的算法。它需要指数时间，另外试管系统被提出作为 DNA 分子的生物计算机系统拼接、切除和重组。操作表明试管系统具有通用计算能力，但在试管系统的各种一般模型中，对试管中某个特定对象应用规则的数目会受到限制。许多研究学者不仅研究了各种 DNA 算法来提高 DNA 计算能力和降低其复杂性，而且也提出了与电子计算模型相对应的分子模型的 DNA 算法，如 DNA 算术运算、DNA 逻辑运算、分子矩阵乘和因式分解法等<sup>3</sup>。

### 三、DNA 算法的特点

DNA 计算的核心问题是将经过编码后的 DNA 链作为输入，在试管内经过一定时间完成控制的生物化学反应，以此来完成运算，使得从反应后的产物及溶液中能得到全部的解空间。DNA 分子生物算法具有如下三方面的显著特点：（1）DNA 分子生物算法具有高度的并行性，运算速度快。（2）DNA 作为信息的载体其贮存的容量非常之大，1 立方米的 DNA 溶液可存储 1 万亿亿的二进制数据，远远超过目前所有电子计算机的总储存量。（3）DNA 分子生物计算所消耗的能量只有一台电子计算机完成同样计算所消耗的能量十亿分之一<sup>4</sup>。

DNA 计算的上述特性，即运算的高度并行性、大容量、低消耗是目前计算机和并行计算机所无法比拟和替代的，从这个意义上说，阿德曼所开创的分子生物计算技术具有划时代的意义，正因为如此，DNA 计算机成为人们所追求的目标。

---

<sup>3</sup> 丁永生，任立红，邵世煌. DNA 计算与软计算[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(z1):198-201.

<sup>4</sup> 高琳，许进. DNA 计算的研究进展与展望[J]. 电子学报, 2001, 29(7):973-977.

## 四、DNA 算法的应用

DNA 计算的应用目前在关于 DNA 计算研究的其它方面<sup>5</sup>，已经提出了基于 DNA 计算的两种类型的图灵机模拟模型；DNA 计算在联想记忆方面的研究工作也已经展开<sup>6</sup>；密码学将是 DNA 计算的一个有着广泛应用前景的应用领域，DNA 链的大规模并行性可以同时攻击一个计算问题的不同部分，从而可以攻破诸如数据加密标准 DES 这种美国政府认为是不可破解的最艰难的组合问题<sup>7</sup>。

## 五、DNA 计算存在的问题

尽管 DNA 计算的研究已取得一些进展，但是 DNA 计算机毕竟只是一种理论设想，所进行的运算实验也仅是 NP 问题的极简单情况，DNA 计算还有许多实际问题和理论挑战有待解决。在当前所有 DNA 计算框架中，许多在常规并行计算中的技术目前还不能用于 DNA 计算，所消耗的时间和空间复杂性远比在此前所进行的反应过程复杂得多，计算所需要的核苷酸及酶的分子数成指数增加，运算过程中的错误发生与传播增大了最优解输出的难度，人机界面对于各种计算问题怎样寻找一种直接的翻译方式。所以也有人认为，DNA 计算机至多只能起到一个运算器的作用。

## 六、DNA 计算的展望

DNA 计算的理论研究和实际实现等待着人们进一步的深入研究，与智能系统中的其它计算方法相结合的途径需要更好地探索。我们期待这一技术的挑战带给科学技术更大的进步。

## 参考文献：

《DNA 计算与软计算》，科学出版社出版，丁永生、邵世煌、任立红著

《DNA 计算 一种新的计算模式》，清华大学出版社出版，珀温，G (Paun, Gheorghe) 著

---

<sup>5</sup> P.Nadia. A Survey on DNA Computing [R]. Technical Report: TR-9707, University of Pisa, Italy, April 1997.

<sup>6</sup> John Reif. Parallel Molecular Computation [M]. In 7th annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures, Santa Barbara, USA, 1995.

<sup>7</sup> 丁永生，任立红，邵世煌. DNA 计算与软计算[J]. 系统仿真学报，2001，13(21):198-201.