

关于 DNA 计算的认识

黄晓 1500016640

摘要:

DNA 计算是一种将分子生物学和计算机科学技术相结合的计算方法,它利用 DNA 与核酸酶之间的生物化学反应来达到计算的目的,为解决复杂的运算问题提供了一条新的途径。DNA 计算具有运算速度快、存储容量大以及消耗能量少的特点,但是需要解决可靠性的问题。考虑到其强大的计算能力,DNA 计算将会在科学研究以及日常生活中扮演越来越重要的角色。

关键词:

DNA 计算; DNA 计算机; 分子生物学; NP 完全问题

一、 DNA 计算的产生背景及基本原理介绍

1. DNA 计算的产生背景

DNA 计算作为计算机科学和分子生物学两个学科的交叉领域,从其产生开始至今只有 20 多年的时间。DNA 计算兴起的一大原因是分子生物学在上世纪 70 年代后的迅猛发展,尤其是其“认识上由宏观向微观转变,技术方法由粗放向精确转变”¹的特点,为 DNA 计算的技术实现提供了可能。另一大原因是,随着计算机科学在近几十年来的爆炸式发展,出现了 NP 完全问题等诸多难以解决的问题。人们意识到仅仅依靠传统计算机的运算能力无法满足人们的需要,所以转而去向自然界寻求一种自然的、高效的运算方法。在这两大背景下,DNA 计算作为一种崭新的跨领域的计算方法逐渐地开始被人们关注。

1994 年,美国加利福尼亚大学的莱昂那多·阿德莱曼博士第一次利用现代

¹龙华. 分子生物学的发展[J]. 生物学通报, 2005, 40(5):58-60.

分子生物技术，提出了哈密尔顿有向路问题的 DNA 分子生物计算方法，并成功地在 DNA 溶液的试管中进行了实验²，标志着 DNA 计算正式走上历史舞台。

2. DNA 计算的基本原理

DNA 计算作为一种新兴的计算技术，其原理并不复杂。从本质上讲，DNA 计算是将原本应当由计算机完成的运算过程交给自然界中存在的 DNA 链及各类 DNA 酶来完成，以达到大幅度提升运算速度的目的。

众所周知，组成 DNA 的四种核苷酸存在着天然的配对关系，DNA 计算正是利用这一特性，将 DNA 生化反应的过程作为计算的过程。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。³利用 DNA 链及各类核算酶，我们完全可以实现将计算机内部进行的二进制运算转化为高效的生物化学反应，用分子生物学的技术快速地读取反应后的结果，以达到计算的目的。

二、有关 DNA 计算的研究

除阿德莱曼教授的研究外，普林斯顿大学的利普顿等人很快地提出了基于 DNA 模型的 DNA 算法，以求解决数学中另一个 NP 问题——可满足性问题。⁴在数据加密与解密方面，DNA 计算也展现出了极大的发展潜力，美国的研究者将破译复杂密码的任务交由 DNA 计算机来完成，发现其破译能力远远超过了传统的超级计算机。⁵在智能控制领域，利用生物 DNA 和人工 DNA 机制已开发出一种 DNA 编码方法，这种方法具有冗余和重叠的基因，可以选择输入变量和调节隶

² Adleman L M. Molecular computation of solutions to combination problems. Science 1994 266(11): 1021-1023

³高琳, 许进, 张军英. DNA 计算的研究进展与展望[J]. 电子学报, 2001, 29(7):973-977.

⁴Lipton R J. DNA solution of hard computational problems.Science 1995 268(28): 542-545.

⁵李人厚,余文. 关于 DNA 计算的基本原理与探讨[J]. 计算机学报,2001,(09):972-978.

属函数，并在人工 DNA 中可应用病毒和酶操作，获取的有效的模糊规则。⁶基于 DNA 计算的研究还有很多，其在生物化学、医学、联想记忆等方面还有着诸多应用，限于篇幅不再赘述。

三、 对 DNA 计算特点的认识

这一部分中我将主要对现阶段 DNA 计算的优势以及存在的问题进行介绍，并在其中谈一谈我对 DNA 计算的认识。

1. 优势

翟中和院士曾说：“我确信哪怕一个最简单的细胞，也比迄今为止设计出的任何智能电脑更精巧！”DNA 计算正是借助了自然界中本已存在的高效计算方式，实现了运算速度大幅度地飞跃。从整体上讲，DNA 计算主要有以下三个优势：

第一， DNA 计算可以同时进行大规模数据的运算，运算速度远超传统计算机。在阿莱德曼的实验中，通过适当估计，DNA 串的并行操作数目可达 10^{14} ，许多研究者认为，用当前技术 10^{15} 到 10^{20} 个串的并行操作是可以达到的，而目前最快的巨型机每秒只能执行 10^{12} 个操作。⁷

第二， DNA 有巨大的存储容量。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。DNA 的这一特点解决了大规模运算的数据存储问题，在面对计算量巨大、数据复杂程度高的问题时，DNA 计算表现出了很强的适应性。

第三， DNA 计算相较于其它计算方式具有节能的特点。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，可以说是一种极具发展前景的计算方法。

⁶Yoshikawa Tetal . Effects of new mechanism of development from artificial DNA and discovery of fuzzy control Rules. In:Proc 4th International Conference on Soft Computing, Fukuoka, Japan, 1996, 2: 498- 501.

⁷杨锐. 基于 DNA 计算的并行处理系统[J]. 2009.

2. 不足

尽管 DNA 计算有着上述多项优势，并且具有很大的潜力，但是在现阶段，受限于技术水平等因素，DNA 计算在实际操作时仍然存在着诸多壁垒需要攻克。最为突出的一点是在 DNA 计算的过程中需要解决可靠性的问题⁸。毕竟分子生物学的诸多技术还很难称得上成熟，在具体实验时难免会出现错误。对于纯粹的分子生物学实验而言，一定程度上的错误率是可以接受的，但是 DNA 计算对于差错率的限制要求更高。很多研究都表明现阶段 DNA 计算，尤其是大规模数据的运算还无法输出令人满意的结果，而这一问题还需要分子生物学技术领域的继续努力。

四、 DNA 计算的发展趋势

可以说，在现阶段 DNA 计算还是一种很不成熟的计算技术，在应用领域还有着诸多局限，但不可否认的是，DNA 计算技术为我们提供了一种解决问题的新途径——即利用自然界中本身就存在的高效运算系统来为人类服务。这一新的计算方式可谓极具发展前景，而解决技术壁垒则是让这一技术真正为我们所用的关键。

总体而言，DNA 计算的发展趋势为将 DNA 技术与传统计算机相结合⁹，在这种计算机中，每部分完成自己适合的任务：并行任务用 DNA 来计算，而固有的串行工作由硅芯片来完成。甚至可以开发一种基于 DNA 分子的高级语言，利用这种语言控制 DNA 的生化反应，以达到计算的目的。可以说，我们距离这一目标还有着很长的距离，但是我相信随着分子生物学和计算机科学技术的飞速进步，DNA 计算会在我们的生活中扮演着越来越重要的角色。

⁸何红波, 谭晓超, 李斌,等. 生物信息学对计算机科学发展机遇与挑战[J]. 生物信息学, 2005, 3(1):37-41.

⁹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(s1):198-201.

参考文献

- 【1】 龙华. 分子生物学的发展[J]. 生物学通报, 2005, 40(5):58-60.
- 【2】 Adleman L M. Molecular computation of solutions to combination problems. Science 1994 266(11): 1021-1023.
- 【3】 高琳, 许进, 张军英. DNA 计算的研究进展与展望[J]. 电子学报, 2001, 29(7):973-977.
- 【4】 Lipton R J. DNA solution of hard computational problems.Science 1995 268(28): 542-545.
- 【5】 李人厚, 余文. 关于 DNA 计算的基本原理与探讨 [J]. 计算机学报, 2001, (09):972-978.
- 【6】 Yoshikawa Tetal . Effects of new mechanism of development from artificial DNA and discovery of fuzzy control Rules. In:Proc 4th International Conference on Soft Computing, Fukuoka, Japan, 1996, 2: 498- 501.
- 【7】 杨锐. 基于 DNA 计算的并行处理系统[J]. 2009.
- 【8】 何红波, 谭晓超, 李斌, 等. 生物信息学对计算机科学发展的机遇与挑战[J]. 生物信息学, 2005, 3(1):37-41.
- 【9】 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(s1):198-201.
- 【10】 陶吉利. 基于 DNA 计算的遗传算法及应用研究[D]. 浙江大学, 2007.
- 【11】 陈霄燕, 江龙. DNA 计算机[J]. 化学进展, 1999(1):71-79.