一个超计算模型——封闭类时曲线计算机对理论计算的意义和制造的可能性

王博涵

摘要

超计算致力于研究比图灵机计算能力更强的计算机器。本文介绍一种超计算模型——封闭类时曲线计算机 [2]，简述它的原理，并说明它的意义以及在可预见的未来中被制造出的可能性。

1 引言

图灵机是一种计算能力很强的计算模型，但它无法解决停机问题，并且在处理非确定性多项式复杂度（NP）问题时效率不够。封闭类时曲线计算机，依靠广义相对论中拥有闭合时间曲线的封闭类时曲线 (closed timelike curve, CTC) 时空来计算，也就是说给计算机配一台时间机器，它能够解决停机问题 [1]，并在极短的时间内处理 NP 问题。

2 CTC 计算机的原理

以一维空间一维时间时空图（图 1）为例，y=x 直线为光的世界线，则所有处处切线与时间轴夹角小于 45° 的曲线，称为类时曲线，描述了物体位置随时间的变化，在某些状态下（如黑洞边缘），类时曲线可能会闭合，形成封闭类时曲线，为避免“祖父悖论”的发生，封闭类时曲线应当满足自洽过程，即未来所产生的结果应当与现在不发生矛盾。若一台计算机能够将自身置于 CTC 中，它便能够在近乎无限短的时间内完成所有 NP 问题。我们以大数的分解为例表明它的工作原理：

1. 输入数据 A，记录当前时刻 t。

2. 得到一个数据 x，并检查 x 是否为 A 的因数。

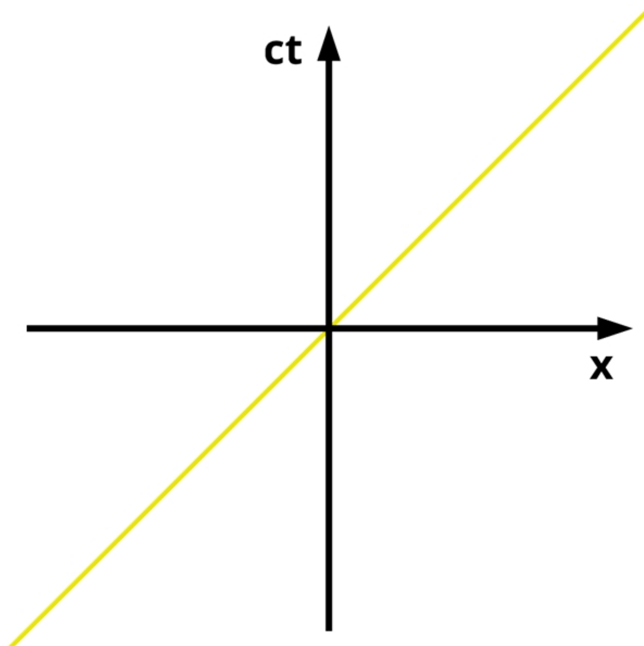

图 1: 一维空间一维时间时空图

3. 如果不是，则更新 $x = x + 1$；若 $x > A$，则重新设置 $x = 2$。

4. 输出 x，并利用封闭类时曲线回到 t 时刻，将 x 作为新输入。

5. 为满足自洽性，即 CTC 计算机的输出必须与未来提供的输入一致，计算机将持续迭代，直至找到符合条件的 x，也就是一个不动点。

3 CTC 计算机的意义

CTC 计算机的意义可以分为：解决图灵机模型的不可解问题（如停机问题），高效解决 NP 问题。

3.1 解决图灵机中的不可解问题

在面对图灵机 P 的停机问题时，我们提出一种方法，通过构造一个计算过程 S，利用概率性的手段对执行记录进行分析。这种方法可以用 CTC

计算机执行，它能证明 P 会或者不会停机。以下是具体细节：

3.1.1 方法概述

该方法的核心是构造一个过程 S，其接受 P 前 t 步执行的记录作为输入，并根据记录作出如下反应：

1. **记录无效**：如果输入的记录无效，S 返回记录的第一步。
2. **记录表明 P 停机**：如果记录显示 P 停机，则 S 返回该记录。
3. **记录有效但未表明停机**：如果记录有效但未显示 P 停机，S 将以相等的概率返回记录的第一步或返回扩展到 $t+1$ 步的记录。

3.1.2 概率性不动点

该过程的设计保证了以下性质：

- 如果 P **停机**，S 的唯一不动点是描述 P 停机的有限记录。
- 如果 P **不停机**，S 的唯一不动点是一个概率分布：

$$P(\text{记录为前 } t \text{ 步}) = 2^{-t}, \quad \forall t > 0.$$

。

3.1.3 方法优势

该方法具有以下显著优点：

1. **为不停机提供证明**：如果 P 不停机，该过程可以输出高概率输出的记录，由于高概率输出集中在记录的前几步（由概率分布决定），记录的长度会是有限的。
2. **为停机提供证明**：如果 P 停机，该过程会输出停机记录，直接作为证明。

3.2 高效解决 NP 问题

尽管没有得到证明，我们普遍认为 $P \neq NP$，但有 CTC 计算机，我们可以对所有问题实施暴力算法（如节 2），并让它自身找到自洽的解。以此，我们便可以在近乎无限短的时间内完成所有理论可计算问题的求解。

4 CTC 计算机被制造的可能性

虽然假想模型理论上很吸引人，但当前物理理论对 CTC 的制造可能性仍有争议，主要原因包括：

1. 物理实现：封闭类时曲线需要极端条件（如接近黑洞、虫洞等），目前尚未观测到可行的实例。
2. 时间悖论与自洽性：是否所有情况下都能找到自洽解，以及是否会引发逻辑矛盾（如祖父悖论），仍然存在未知。
3. 能量消耗与热力学：即使实现 CTC，如何保证计算过程的物理可行性（如能量消耗、熵增加等）也需进一步探索。

参考文献

[1] Scott Aaronson. Computability theory of closed timelike curves. 2016.

[2] David Deutsch. Quantum mechanics near closed timelike lines. *Phys. Rev. D*, 44(10):3197–3217, Nov 1991.