

关于分布式计算的报告

杨城冉

【摘要】随着网络速度的提升、延迟的降低以及计算机硬件成本的下降，分布式计算的可行性越来越高。除此之外，越来越多的参与者加入了研究、部署分布式计算的行列，其前景十分广阔。本文从分布式计算的概念、作为其指导原则的 CAP 理论以及应用实例入手，对分布式计算进行简短的介绍。

【关键词】分布式计算 CAP 理论 实例

一、分布式计算的概念

要对分布式计算（Distributed Computing）进行一个严格的定义，需要引入“模型（model）”、“分布式（Distributed）”、“线程（process）”三个概念。

首先，我们把“模型”定义为对一个系统的抽象简化表述。比如：在现实中，一个学校中有许多学生，这些学生被分成若干个班级，每个班级都有一个教师教学。这个实体包含了所有细节：比如学生的具体姓名、班级的具体编号等等。显然这不是一个模型。但是，经过如右图所示的抽象之后，我们就从这所具体的学校中抽象出了一个“学校系统”的模型。

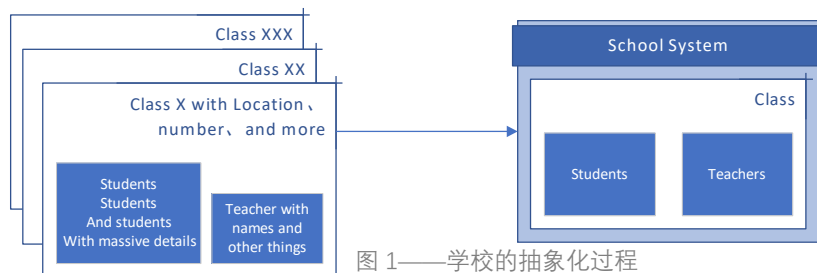


图 1——学校的抽象化过程

其次是“分布式”的定义。与通常理解不同，我们这里的“分布式”并不指组成成分在宏观世界上处于不同地区，而是指在“层面（view）”上处于不同的区域。¹比如：一个计算机硬件工程师会把一个电脑看作“分布式（Distributed）”的，因为其中包括 GPU、CPU、声卡等一系列计算机组件，而各个组件之间完全符合上述定义；而一个 Python 程序员会把同一个电脑看作“非分布式（Non-distributed）”的，因为他将这台电脑作为一个基本单元。“层面”的不同导致了两人不同的看法。

最后是“线程”的概念。“线程”指能够独立计算（Compute）的最小单元。这里的最小单元是人为界定的，参见上一段中的两个例子可以清晰地明白这一点。

那么，符合分布式计算的系统是指：能够符合“在特定层面上，由多个分布式的线程通过某种方式彼此协调，共同完成一个计算任务”的模型的系统。²分布式计算自然就是该系统所应满足的上述特性。

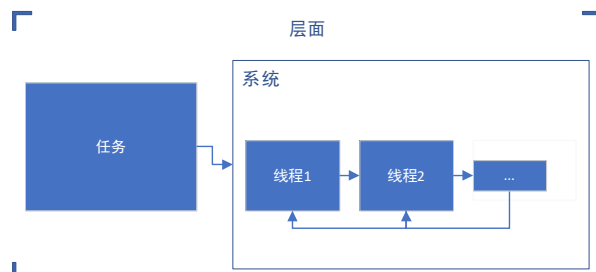


图 2——分布式计算模型的直观表述

二、分布式计算的设计指导原则——CAP 理论

2000 年 7 月，Eric Brewer 教授提出了 CAP 猜想，两年后，Seth Gilbert 和 Nancy Lynch 在理论上证明了 CAP 猜想的正确性。

CAP 中 C 指示一致性（Consistency），表示某操作成功（例如：数据更新、任务重新分配）后，分布式计算系统中所有的线程在同一时间保持数据一致的能力。A 则指代高可用性（High Availability），表明系统中的节点均能保持在一次更新期间的可用性的能力。P 则指代分区容错性（Partition tolerance），表示在节点分成不同的区片时，系统继续进行服务的能力。CAP 理论是指：任何系统在某特定时刻，只能满足 C、A、P 中的两个。下面举一个例子证明这个理论。设想有两个电脑，通过网线连接，系统需要保持 C 的成立。假设网线传输无延迟。某电脑更新后，系统要保持数据一致，有两种情况：①两个电脑立刻传递信息进行同步。显然，网络绝对不能分区，不然不可能满足前提条件。于是在①的情况下，P 不成立。由于系统无延迟，在某节点更新后网络立刻保持了最新的状态，每个电脑立刻可以重新服务。这样，A 成立。②另一台电脑等待这个更新后的电脑发送数据。显然，这保证了 P 成立。但是，在分片时，等待的那台电脑无法服务，这就无法保证 A。由

¹ Leslie Lamport; Nancy Lynch: Distributed Computing: Models and Methods. Elsevier Science Publishers B.V., 1990

² 同上

此，C 成立时，A 和 P 只能选其一。同理可得，CAP 三者只能任选其二满足。

由于现代网络架构的特征（还未实现无延迟的传输方式），在实际应用中，应当优先保证 P，再在此基础上满足 A 或 P。最新的研究表明³，如果分区架构合理，系统可以在不同时刻满足三者中不同的两者。

三、分布式计算的应用举例

1、CDN（Content Delivery Network，内容分发网络）

①、**概念：** 内容分发网络（Content Delivery Network，缩写：CDN）是指一种透过互联网互相连接的电脑网络系统，这种系统利用最靠近每位用户的服务器，更快地将文件发送给用户，来提供高性能的网络内容传递。

②、**工作方式：** CDN 网络中每个服务器都起到数据缓存与转发的作用。这些服务器都保有一份网页的副本，在用户请求内容时，离用户最近的 CDN 服务器直接将自己缓存的网页发送至用户手中，而不用再去请求原始网站的数据，大大节省了网络流量、提升访问速度。

③、CDN 所体现的分布式计算理论

首先，CDN 实现了高可用性。除非所有节点都出现问题，网络中任意节点出现故障，都会有其他节点来接替此节点的任务。同时，当因为某些原因，网络被切分成不同的无法互相连接的区块时，CDN 网络也可以通过每个区块中的服务器来转发网页内容，而不致使用户完全无法访问页面。但是，在原始网站上进行的更改不会立即体现在 CDN 所转发的内容中，而是经过一定的时间，CDN 服务器刷新自己的缓存后再更新。这不符合强一致性的定义。因此，CDN 是一种 AP（Availability and Partition tolerance）型的分布式计算网络。

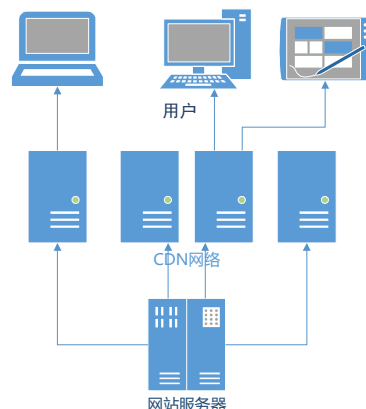


图 3——CDN 的架构图

2、联邦学习（Federated Learning）

传统的 AI 模型训练需要中心化的数据。各互联网厂商为了自身的利益，大肆收集用户使用行为来训练模型，实现更好的收益，这一行为长期以来饱受诟病。但是，谷歌提出的基于分布式计算的深度学习——联邦学习（Federated Learning）有望打破这一现状。具有联邦学习功能的应用会将模型下载到用户的设备上，通过用户自身的计算能力，在本地使用用户的数据来进行深度学习。学习完成后的模型会经过混淆加密后返回给服务器，服务器将这些内容聚合，并用于模型的改进。可以看出，这样既节省了公司训练模型所需的电、GPU 等资源，又保护了用户隐私（全过程中，用户始终没有把未加密的信息发送到云端）。⁴

3、谷歌文件系统（Google File System，以下简称 GFS）

GFS 是 Google 公司为了解决自身数据处理需求所自研的一个分布式文件存储系统。与普通的分布式文件系统不同，GFS 具有许多优点。其一：GFS 认定，在系统中，组件失效是常态的事件，而非意外事件。这保证了 Google 能够用家用级数据存储设备储存其海量数据。其二是 GFS 专为大文件设计，这解决了传统分布式存储应对大文件能力不足的缺陷。该系统有力地支撑了 Google 业务的扩张。⁵

四、分布式计算的前景

分布式计算继续发展的必要性已经显露。在信息爆炸的时代，单个中心计算线程越来越难以处理指数级增长的信息；由多个线程组成的分布式计算系统正在发挥出其特有的优势。同时，随着网络速度的进一步提升、网络延迟的降低、硬件成本的下降，分布式计算部署的可行性也越来越高。一言以蔽之，分布式计算是未来一段时间内密集型计算发展的热点。

不过，我认为分布式计算不是万能的。对于高同步需求的计算以及小型计算，动用分布式的架构反而可能会降低计算速度。另外，虽然网络传输速度、延迟大大降低，但国际互联网的饱和度呈升高趋势，长期以往可能不利于分布式计算的发展。希望分布式计算的参与者能多加关注基础设施的建设，为未来分布式计算网络的飞跃打下坚实的基础。

³ IEEE: CAP twelve years later: How the "rules" have changed, DOI: 10.1109/MC.2012.37

⁴ Federated Learning: Collaborative Machine Learning without Centralized Training Data. Google AI blog, at <https://ai.googleblog.com/2017/04/federated-learning-collaborative.html>

⁵ Sanjay Ghemawat, Howard Gobioff, Shun-Tak Leung: The Google File System. Google Research, at <https://research.google/pubs/pub51/>

参考书目、文献及其他内容

[1]Leslie Lamport; Nancy Lynch: Distributed Computing: Models and Methods. Elsevier Science Publishers B.V., 1990

[2]David Peleg: Distributed Computing, Springer

[3]Google Research - Distributed Systems and Parallel Computing, at <https://research.google/research-areas/distributed-systems-and-parallel-computing/>