本课时我们主要介绍分布式系统中最基础的 CAP 理论及其应用。

对于开发或设计分布式系统的架构师、工程师来说，CAP 是必须要掌握的基础理论，CAP 理论可以帮助架构师对系统设计中目标进行取舍，合理地规划系统拆分的维度。下面我们先讲讲分布式系统的特点。

分布式系统的特点

随着移动互联网的快速发展，互联网的用户数量越来越多，产生的数据规模也越来越大，对应用系统提出了更高的要求，我们的系统必须支持高并发访问和海量数据处理。

分布式系统技术就是用来解决集中式架构的性能瓶颈问题，来适应快速发展的业务规模，一般来说，分布式系统是建立在网络之上的硬件或者软件系统，彼此之间通过消息等方式进行通信和协调。

分布式系统的核心是**可扩展性**，通过对服务、存储的扩展，来提高系统的处理能力，通过对多台服务器协同工作，来完成单台服务器无法处理的任务，尤其是高并发或者大数据量的任务。

除了对可扩展性的需求，分布式系统**还有不出现单点故障、服务或者存储无状态等特点**。

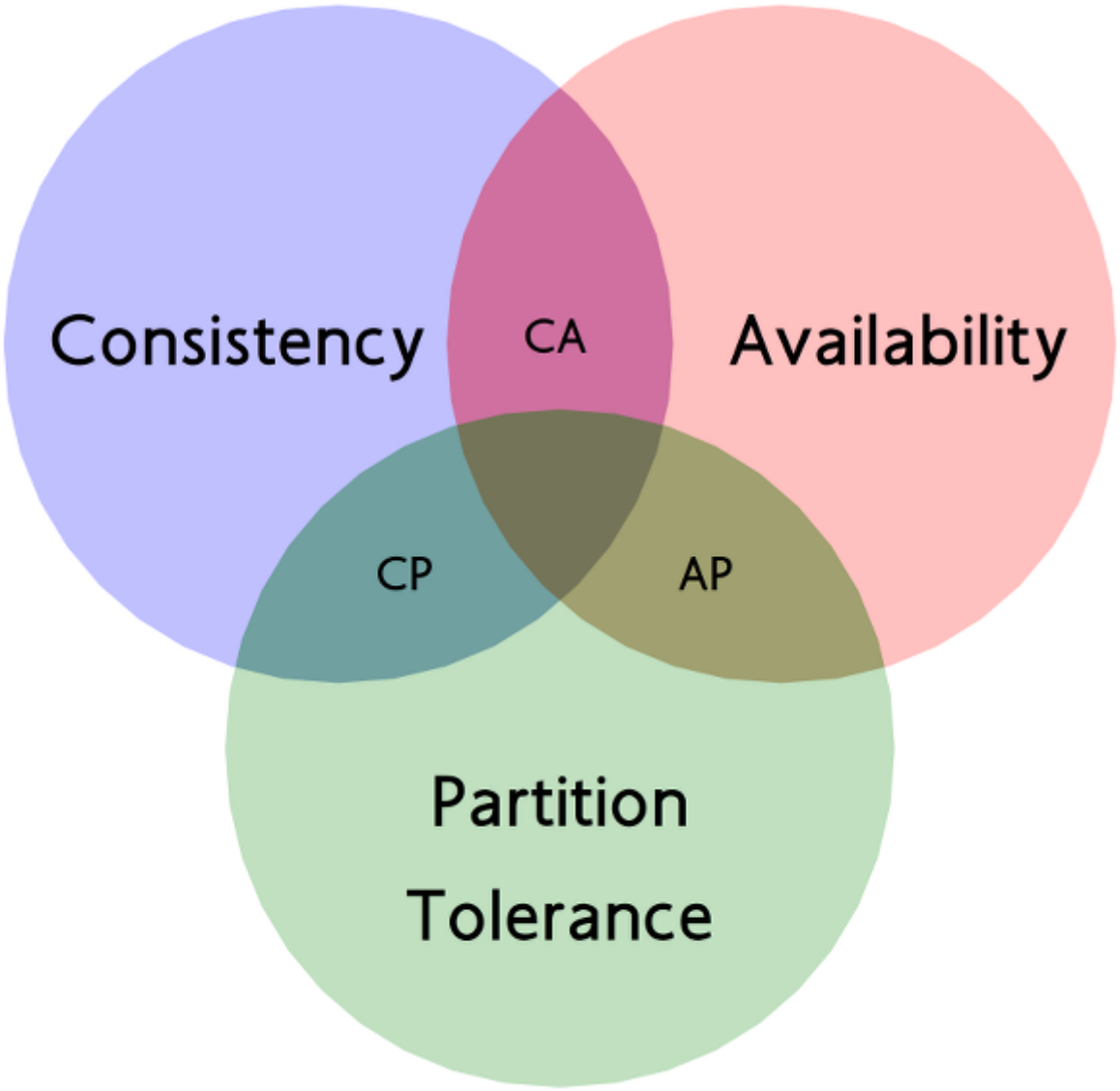
- 单点故障（Single Point Failure）是指在系统中某个组件一旦失效，这会让整个系统无法工作，而不出现单点故障，单点不影响整体，就是分布式系统的设计目标之一；
- 无状态，是因为无状态的服务才能满足部分机器宕机不影响全部，可以随时进行扩展的需求。

由于分布式系统的特点，在分布式环境中更容易出现问题，比如节点之间通信失败、网络分区故障、多个副本的数据不一致等，为了更好地在分布式系统下进行开发，学者们

提出了一系列的理论，其中具有代表性的就是 CAP 理论。

CAP 代表什么含义

CAP 理论可以表述为，一个分布式系统最多只能同时满足一致性（Consistency）、可用性（Availability）和分区容忍性（Partition Tolerance）这三项中的两项。



一致性是指“所有节点同时看到相同的数据”，即更新操作成功并返回客户端完成后，所有节点在同一时间的数据完全一致，等同于所有节点拥有数据的最新版本。

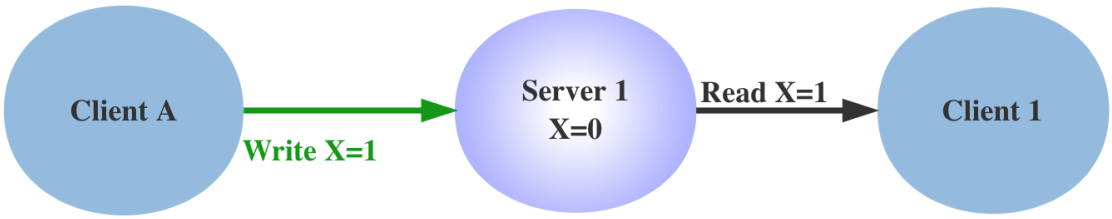
可用性是指“任何时候，读写都是成功的”，即服务一直可用，而且是正常响应时间。我们平时会看到一些 IT 公司的对外宣传，比如系统稳定性已经做到 3 个 9、4 个 9，即 99.9%、99.99%，这里的 N 个 9 就是对可用性的一个描述，叫做 SLA，即服务水平协议。比如我们说月度 99.95% 的 SLA，则意味着每个月服务出现故障的时间只能占总时间的 0.05%，如果这个月是 30 天，那么就是 21.6 分钟。

分区容忍性具体是指“当部分节点出现消息丢失或者分区故障的时候，分布式系统仍然能够继续运行”，即系统容忍网络出现分区，并且在遇到某节点或网络分区之间网络不可达的情况下，仍然能够对外提供满足一致性和可用性的服务。

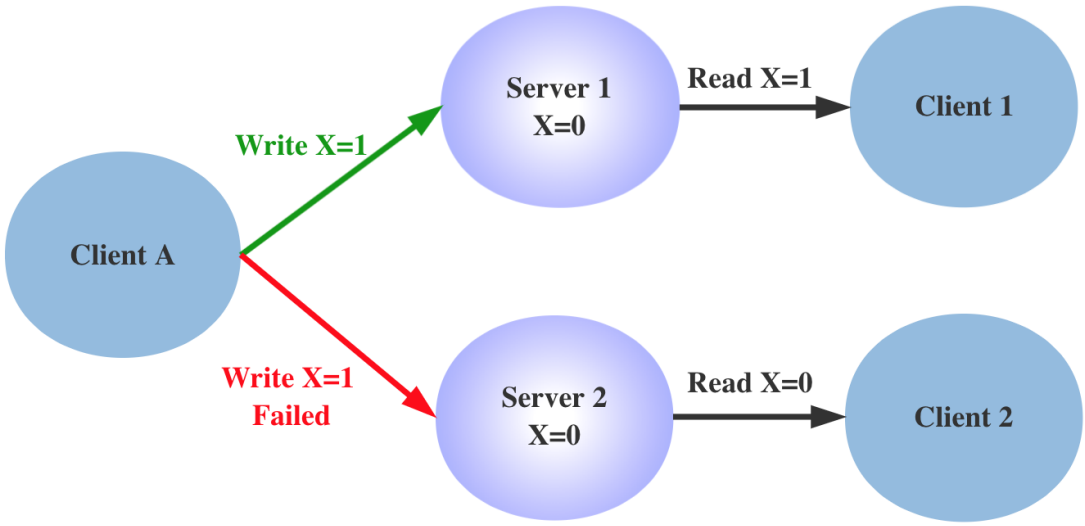
在分布式系统中，由于系统的各层拆分，P 是确定的，CAP 的应用模型就是 CP 架构和 AP 架构。分布式系统所关注的，就是在 Partition Tolerance 的前提下，如何实现更好的 A 和更稳定的 C。

CAP 理论的证明

CAP 理论的证明有多种方式，通过**反证**的方式是最直观的。反证法来证明 CAP 定理，最早是由 Lynch 提出的，通过一个实际场景，如果 CAP 三者可同时满足，由于允许 P 的存在，则一定存在 Server 之间的丢包，如此则不能保证 C。



首先构造一个单机系统，如上图，Client A 可以发送指令到 Server 并且设置更新 X 的值，Client 1 从 Server 读取该值，在单点情况下，即没有网络分区的情况下，通过简单的事务机制，可以保证 Client 1 读到的始终是最新值，不存在一致性的问题。



我们在系统中增加一组节点，因为允许分区容错，Write 操作可能在 Server 1 上成功，在 Server 2 上失败，这时候对于 Client 1 和 Client 2，就会读取到不一致的值，出现不一致的情况。如果要保持 X 值的一致性，Write 操作必须同时失败， 也就是降低系统的可用性。

可以看到，在分布式系统中，无法同时满足 CAP 定律中的“一致性” “可用性”和“分区容错性”三者。

在该证明中，对 CAP 的定义进行了更明确的声明：

- Consistency，一致性被称为原子对象，任何的读写都应该看起来是“原子”的，或串行的，写后面的读一定能读到前面写的内容，所有的读写请求都好像被全局排序；
- Availability，对任何非失败节点都应该在有限时间内给出请求的回应（请求的可终止性）；
- Partition Tolerance，允许节点之间丢失任意多的消息，当网络分区发生时，节点之间的消息可能会完全丢失。

CAP 理论的应用

CAP 理论提醒我们，在架构设计中，不要把精力浪费在如何设计能满足三者的完美分布式系统上，而要合理进行取舍，CAP 理论类似数学上的不可能三角，只能三者选其二，不能全部获得。

不同业务对于一致性的要求是不同的。举个例来讲，在微博上发表评论和点赞，用户对不一致是不敏感的，可以容忍相对较长时间的不一致，只要做好本地的交互，并不会影响用户体验；而我们在电商购物时，产品价格数据则是要求强一致性的，如果商家更改价格不能实时生效，则会对交易成功率有非常大的影响。

需要注意的是，CAP 理论中是忽略网络延迟的，也就是当事务提交时，节点间的数据复制一定是需要花费时间的。即使是同一个机房，从节点 A 复制到节点 B，由于现实中网络不是实时的，所以总会有一定的时间不一致。

CP 和 AP 架构的取舍

在通常的分布式系统中，为了保证数据的高可用，通常会将数据保留多个**副本**（Replica），网络分区是既成的现实，于是只能在可用性和一致性两者间做出选择。CAP 理论关注的是在绝对情况下，在工程上，可用性和一致性并不是完全对立的，我们关注的往往是如何在保持相对一致性的前提下，提高系统的可用性。

业务上对一致性的要求会直接反映在系统设计中，典型的就是 CP 和 AP 结构。

- CP 架构：对于 CP 来说，放弃可用性，追求一致性和分区容错性。

我们熟悉的 ZooKeeper，就是采用了 CP 一致性，ZooKeeper 是一个分布式的服务框架，主要用来解决分布式集群中应用系统的协调和一致性问题。其核心算法是 Zab，所有设计都是为了一致性。在 CAP 模型中，ZooKeeper 是 CP，这意味着面对网络分区时，为了保持一致性，它是不可用的。关于 Zab 协议，将会在后面的 ZooKeeper 课时中介绍。

- AP 架构：对于 AP 来说，放弃强一致性，追求分区容错性和可用性，这是很多分布式系统设计时的选择，后面的 Base 也是根据 AP 来扩展的。

和 ZooKeeper 相对的是 Eureka，Eureka 是 Spring Cloud 微服务技术栈中的服务发现组件，Eureka 的各个节点都是平等的，几个节点挂掉不影响正常节点的工作，剩余的节点依然可以提供注册和查询服务，只要有一台 Eureka 还在，就能保证注册服务可用，只不过查到的信息可能不是最新的版本，不保证一致性。

总结

这一课时分享了分布式系统的基础——CAP 理论，包括 CAP 分别代表什么含义、如何证明、CAP 不同模型的典型代表，以及 CAP 在系统设计中有哪些应用。

精选评论

**堂：

> cap是对数据而言的，脱离了数据，就无谈CAP、BASE、ACID等

**lpzh：

> 这套专栏和《云原生应用微服务架构精讲》有何不同 😅

**编辑回复：

> 分布式课程主打分布式技术，包含的范围更广，也覆盖了一部分微服务的内容，
> 云原生课程更偏向动手编程实战，两个课程可以互相补充，学好了分布式，再去学习云原生课程效果会更好

**臣：

> 讲得真好，CP和AP的选择要根据使用场景来决定的。对于分布式服务注册发现的组件，服务端和客户端可以选择长连接，对于一致性要求不必那么高，AP就很合适。对于类似库存、交易等分布式锁场景，要求数据必须准确，就要用CP了。

**伟：

> 赞

**0175：

> 我理解分布式系统中，p是必存在的的。所以针对强一致性的，需要满足cp，比如zk选举的时候就是不可用的。ap的，比如eureka，需要保证可用，可以不是最新数据，但是能够最终一致

**成：

> 请问老师，为什么在分布式系统中，由于系统的各层拆分，P 是确定的？而不是A或C？

**讲师回复：

> 可以关注下分布式系统的定义，分布式系统就是服务，存储，数据都是多机器的，不满足单点，所以当我们讨论分布式系统，就形成了事实上的分区

*帆：

> 看过极客时间的，对比起来这个开篇分析cap更有深度...

**6006：

> 一些疑问：
>
> 1.分区容忍性在定义上应该不是在容许部分分区失败的情况下，能提供一致性和可用性吧，这不本身就违反CAP么？
> 2.在上面的假设情况下，是每个分区都有一份数据么？假设有5个分区，每个分区里面会不会有读写分离的数据？主备的数据？

讲师回复：

> CAP的内容就是提出了一个不可能三角，并且说明这个三角不成立，所以CAP定义中一致性和可用性的标准非常高，比如一致性是"all nodes see the same data at the same time"，可用性指"Reads and writes always succeed"。分区不一定是每个分区都有一份数据，主备本身就是数据分区了。

***浩：**

> 讲得好

****勇：**

> 能否总结下hbase、zk、redis等属于cp还是ap，多谢！

讲师回复：

> 是ap还是cp要看具体的应用场景，比如Redis不同的集群方案可以实现不同的一致性模型。

***松：**

> 打卡

****鹏：**

> 我们在系统中增加一组节点，因为允许分区容错，Write 操作可能在 Server 1 上成功，在 Server 2 上失败，这时候对于 Client 1 和 Client 2，就会读取到不一致的
>
> 老师您好，这里我有疑问，sever1和2两个使用不同的数据库吗

讲师回复：

> 写操作可能因为网络失败等，想象一个极端情况，在写入操作同时机房断电停机，所以和数据库没关系，Server 1和2可以是同一个物理数据库，也可以是不同的数据库，比如分库分表

****明：**

> 老师，这句话怎么理解？在分布式系统中，由于系统的各层拆分，P 是确定的？

讲师回复：

> 需要网络通信才能联通的部分，包括工程分层、存储分离，都可以认为是 Partition。

****姣：**

> 老师~有个不理解的地方，“为了更好的在分布式系统下进行开发，提出了一些列理论，CAP是其中之一”，这句话的意思是 CAP 理论是为了更好的设计分布式架构嘛？遵循 CAP 理论，就可以设计更加强健的分布式架构。

讲师回复：

> CAP是一个抽象程度很高的理论，理论指导实际，可以避免我们踩一些坑，比如你要同时满足高可用、一致性和分区，就是进入了系统设计的死胡同

***松：**

> 赞

***鹏：**

> 老师，zk应该是ap模型吧

讲师回复：

> 可以看下Zookeeper对脑裂的处理，对应cp模型

桑：

> 老师您好，对于cp不怎么明白，既然分区容错了，那如何保证一致性呢？如果区分时系统不可用，那分区容错又是什么意思呢？

讲师回复：

> 可以这么理解，如果满足A和C了，那么不能满足P，也就是不能容忍分区，也就是can not tolerance partition

Richard123m：

> 有个三个疑问
> 1. P表示容许有个别节点故障，C表示所有节点的数据又强一致。那么CP是怎么实现的呢？
> 2. "由于允许 P 的存在，则一定存在 Server 之间的丢包，如此则不能保证 C。"如何理解？
> 3. A、P怎么感觉是一回事？还是说P表示每个节点要有副本，A表示只要有响应就行，不管节点性质(主节点，从节点)？

讲师回复：

> 假设有多个数据分区，为了满足CP，写入之后花很长同步，并且不提供服务。因为不同分区之间通过网络传输，网络传输不是绝对可靠的。

***雄：**

> 互联网公司的分布式系统，一般都是P了。（如果不是，服务也太脆弱了）在通常的分布式系统中，为了保证数据的高可用，通常会将数据保留多个副本（Replica），网络分区是既成的现实，于是只能在可用性和一致性两者间做出选择。

***杰：**

> 🙆可以

***帅：**

> mark