08 | Raft算法（二）：如何复制日志?

2020-02-28 韩健

讲述：于航
时长 09:42　大小 7.79M

你好，我是韩健。

通过上一讲的学习，你应该知道 Raft 除了能实现一系列值的共识之外，还能实现各节点日志的一致，不过你也许会有这样的疑惑：“什么是日志呢？它和我的业务数据有什么关系呢？”

想象一下，一个木筏（Raft）是由多根整齐一致的原木（Log）组成的，而原木又是由木质材料组成，所以你可以认为日志是由多条日志项（Log entry）组成的，如果把日志比原木，那么日志项就是木质材料。

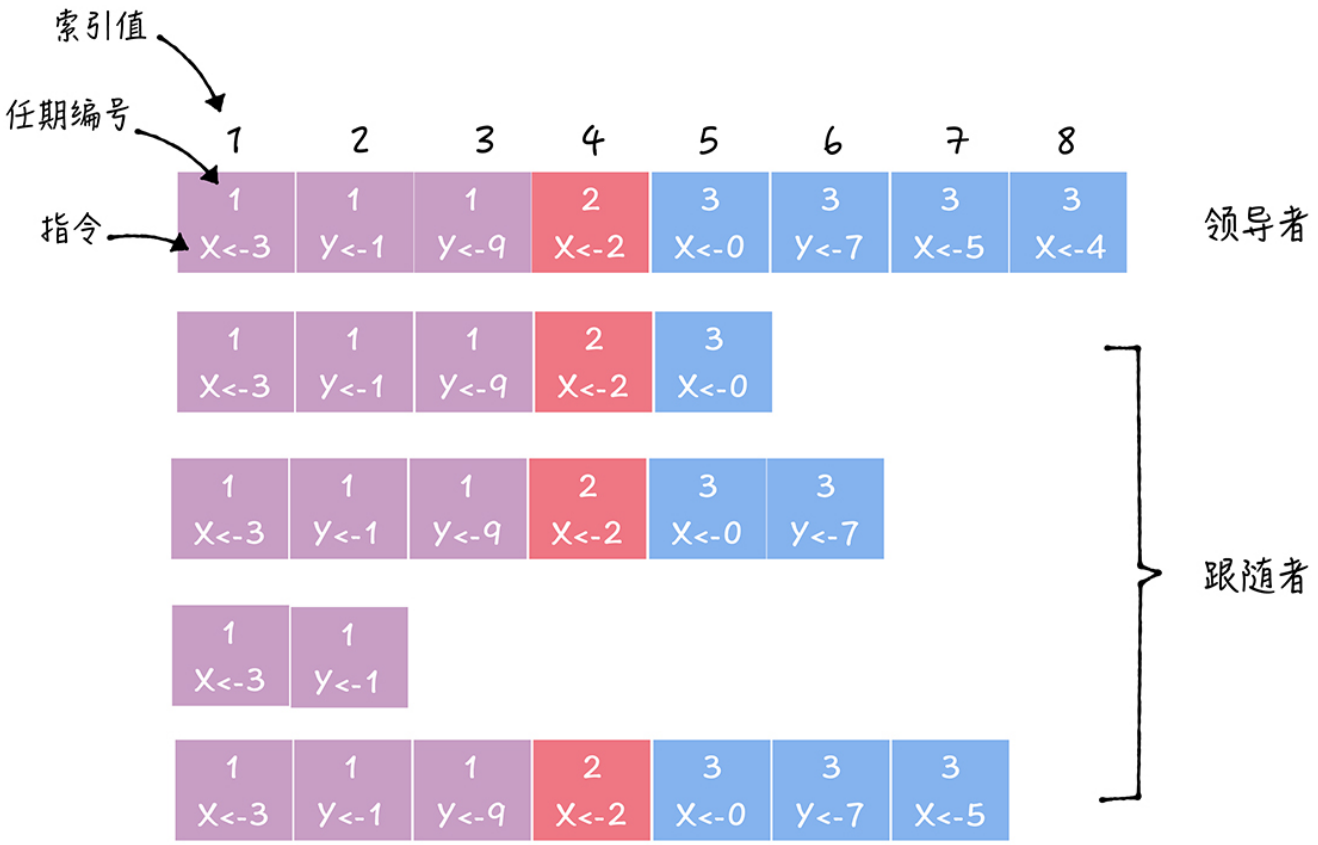
在 Raft 算法中，副本数据是以日志的形式存在的，领导者接收到来自客户端写请求后，处理写请求的过程就是一个复制和提交日志项的过程。

那 Raft 是如何复制日志的呢？又如何实现日志的一致的呢？这些内容是 Raft 中非常核心的内容，也是我今天讲解的重点，我希望你不懂就问，多在留言区提出你的想法。首先，咱们先来理解日志，这是你掌握如何复制日志、实现日志一致的基础。

如何理解日志?

刚刚我提到，副本数据是以日志的形式存在的，日志是由日志项组成，日志项究竟是什么样子呢?

其实，日志项是一种数据格式，它主要包含用户指定的数据，也就是指令（Command），还包含一些附加信息，比如索引值（Log index）、任期编号（Term）。那你该怎么理解这些信息呢?



指令：一条由客户端请求指定的、状态机需要执行的指令。你可以将指令理解成客户端指定的数据。

索引值：日志项对应的整数索引值。它其实就是用来标识日志项的，是一个连续的、单调递增的整数号码。

任期编号：创建这条日志项的领导者的任期编号。

从图中你可以看到，一届领导者任期，往往有多条日志项。而且日志项的索引值是连续的，这一点你需要注意。

讲到这儿你可能会问：不是说 Raft 实现了各节点间日志的一致吗？那为什么图中 4 个跟随者的日志都不一样呢？日志是怎么复制的呢？又该如何实现日志的一致呢？别着急，接下来咱们就来解决这几个问题。先来说说如何复制日志。

如何复制日志?

你可以把 Raft 的日志复制理解成一个优化后的二阶段提交（将二阶段优化成了一阶段），减少了一半的往返消息，也就是降低了一半的消息延迟。那日志复制的具体过程是什么呢?

首先，领导者进入第一阶段，通过日志复制（AppendEntries）RPC 消息，将日志项复制到集群其他节点上。

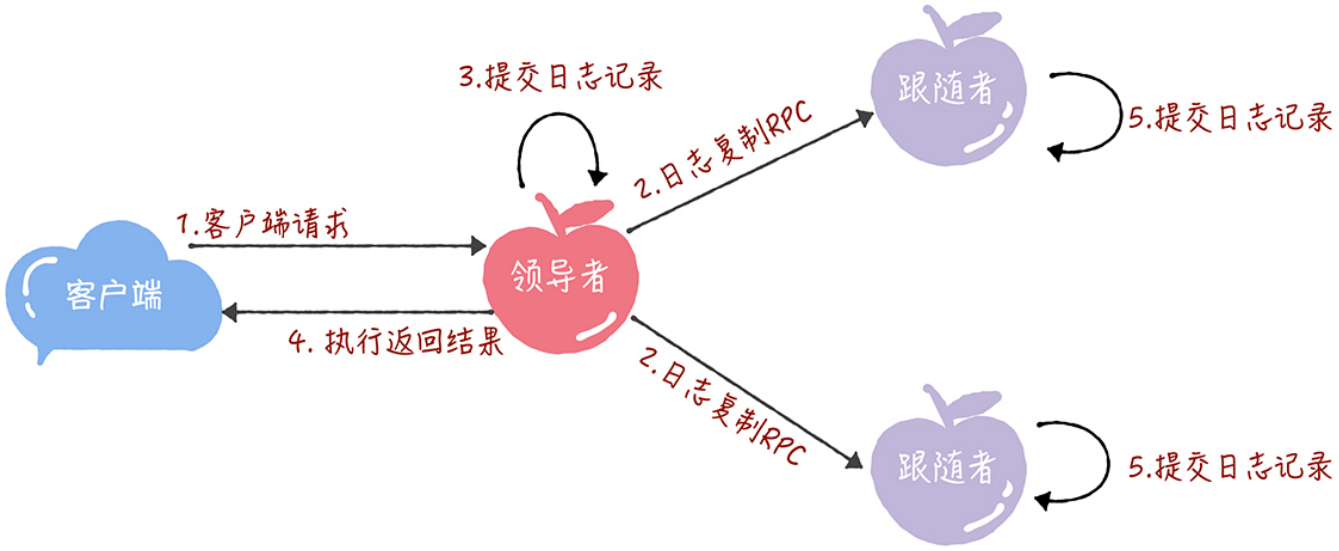
接着，如果领导者接收到大多数的“复制成功”响应后，它将日志项提交到它的状态机，并返回成功给客户端。如果领导者没有接收到大多数的“复制成功”响应，那么就返回错误给客户端。

学到这里，有同学可能有这样的疑问了，领导者将日志项提交到它的状态机，怎么没通知跟随者提交日志项呢?

这是 Raft 中的一个优化，领导者不直接发送消息通知其他节点提交指定日志项。因为领导者的日志复制 RPC 消息或心跳消息，包含了当前最大的，将会被提交的日志项索引值。所以通过日志复制 RPC 消息或心跳消息，跟随者就可以知道领导者的日志提交位置信息。

因此，当其他节点接受领导者的心跳消息，或者新的日志复制 RPC 消息后，就会将这条日志项提交到它的状态机。而这个优化，降低了处理客户端请求的延迟，将二阶段提交优化为了一段提交，降低了一半的消息延迟。

为了帮你理解，我画了一张过程图，然后再带你走一遍这个过程，这样你可以更加全面地掌握日志复制。



1. 接收到客户端请求后，领导者基于客户端请求中的指令，创建一个新日志项，并附加到本地日志中。
2. 领导者通过日志复制 RPC，将新的日志项复制到其他的服务器。
3. 当领导者将日志项，成功复制到大多数的服务器上的时候，领导者会将这条日志项提交到它的状态机中。
4. 领导者将执行的结果返回给客户端。
5. 当跟随者接收到心跳信息，或者新的日志复制 RPC 消息后，如果跟随者发现领导者已经提交了某条日志项，而它还没提交，那么跟随者就将这条日志项提交到本地的状态机中。

不过，这是一个理想状态下的日志复制过程。在实际环境中，复制日志的时候，你可能会遇到进程崩溃、服务器宕机等问题，这些问题会导致日志不一致。那么在这种情况下，Raft 算法是如何处理不一致日志，实现日志的一致的呢?

如何实现日志的一致?

在 Raft 算法中，领导者通过强制跟随者直接复制自己的日志项，处理不一致日志。也就是说，Raft 是通过以领导者的日志为准，来实现各节点日志的一致的。具体有 2 个步骤。

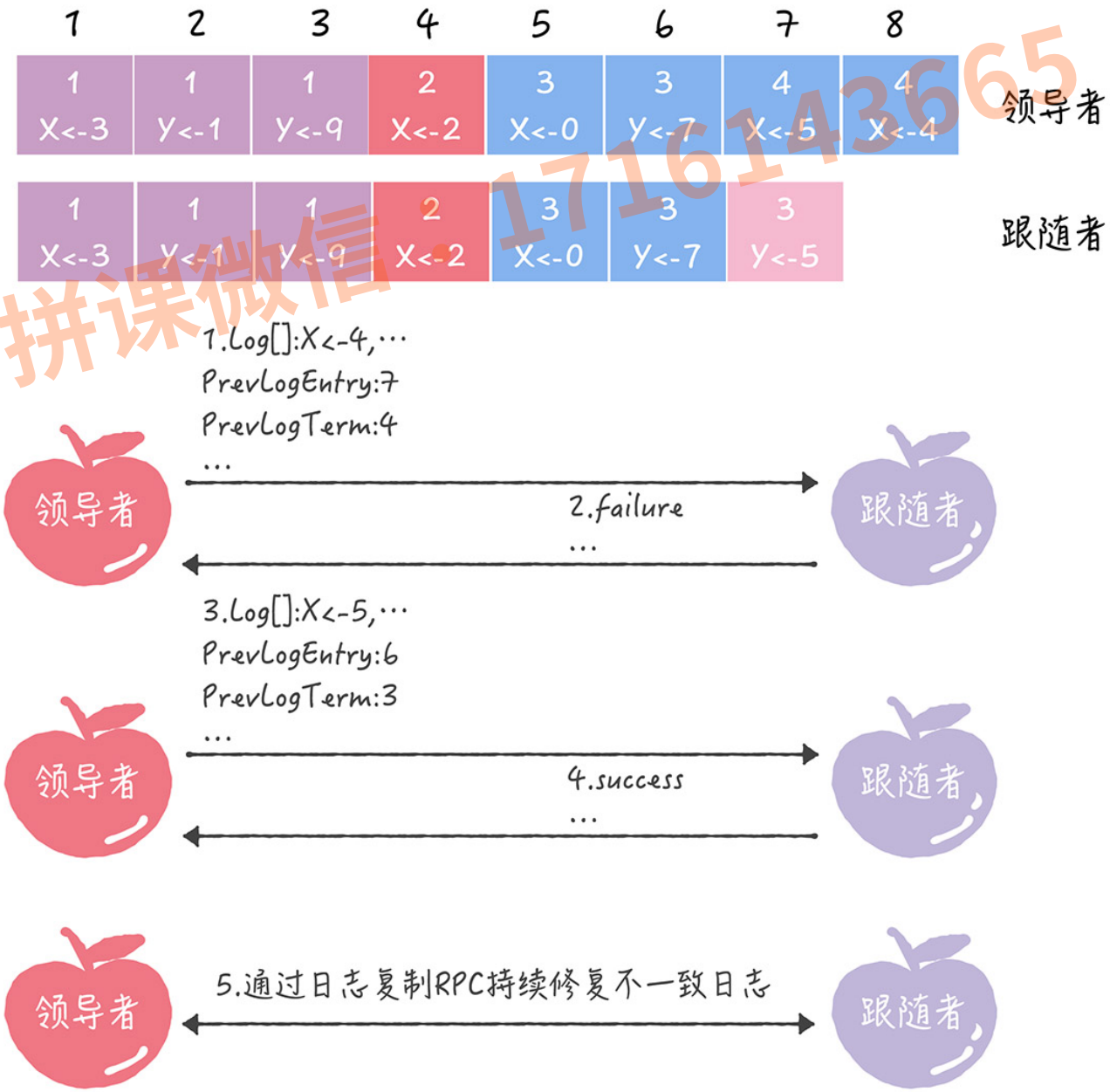
首先，领导者通过日志复制 RPC 的一致性检查，找到跟随者节点上，与自己相同日志项的最大索引值。也就是说，这个索引值之前的日志，领导者和跟随者是一致的，之后的日志是不一致的了。

然后，领导者强制跟随者更新覆盖的不一致日志项，实现日志的一致。

我带你详细地走一遍这个过程（为了方便演示，我们引入 2 个新变量）。

PrevLogEntry：表示当前要复制的日志项，前面一条日志项的索引值。比如在图中，如果领导者将索引值为 8 的日志项发送给跟随者，那么此时 PrevLogEntry 值为 7。

PrevLogTerm：表示当前要复制的日志项，前面一条日志项的任期编号，比如在图中，如果领导者将索引值为 8 的日志项发送给跟随者，那么此时 PrevLogTerm 值为 4。



1. 领导者通过日志复制 RPC 消息，发送当前最新日志项到跟随者（为了演示方便，假设当前需要复制的日志项是最新的），这个消息的 PrevLogEntry 值为 7，PrevLogTerm 值为 4。
2. 如果跟随者在它的日志中，找不到与 PrevLogEntry 值为 7、PrevLogTerm 值为 4 的日志项，也就是说它的日志和领导者的不一致了，那么跟随者就会拒绝接收新的日志项，并返回失败信息给领导者。
3. 这时，领导者会递减要复制的日志项的索引值，并发送新的日志项到跟随者，这个消息的 PrevLogEntry 值为 6，PrevLogTerm 值为 3。
4. 如果跟随者在它的日志中，找到了 PrevLogEntry 值为 6、PrevLogTerm 值为 3 的日志项，那么日志复制 RPC 返回成功，这样一来，领导者就知道在 PrevLogEntry 值为 6、PrevLogTerm 值为 3 的位置，跟随者的日志项与自己相同。
5. 领导者通过日志复制 RPC，复制并更新覆盖该索引值之后的日志项（也就是不一致的日志项），最终实现了集群各节点日志的一致。

从上面步骤中你可以看到，领导者通过日志复制 RPC 一致性检查，找到跟随者节点上与自己相同日志项的最大索引值，然后复制并更新覆盖该索引值之后的日志项，实现了各节点日志的一致。需要你注意的是，跟随者中的不一致日志项会被领导者的日志覆盖，而且领导者从来不会覆盖或者删除自己的日志。

内容小结

本节课我主要带你了解了在 Raft 中什么是日志、如何复制日志、以及如何处理不一致日志等内容。我希望你明确这样几个重点。

在 Raft 中，副本数据是以日志的形式存在的，其中日志项中的指令表示用户指定的数据。

兰伯特的 Multi-Paxos 不要求日志是连续的，但在 Raft 中日志必须是连续的。而且在 Raft 中，日志不仅是数据的载体，日志的完整性还影响领导者选举的结果。也就是说，日志完整性最高的节点才能当选领导者。

Raft 是通过以领导者的日志为准，来实现日志的一致的。

学完本节课你可以看到，值的共识和日志的一致都是由领导者决定的，领导者的唯一性很重要，那么如果我们需要对集群进行扩容或缩容，比如将 3 节点集群扩容为 5 节点集群，这

时候是可能同时出现两个领导者的。这是为什么呢？在 Raft 中，又是如何解决这个问题的呢？我会在下一讲带你了解。

课堂思考

我提到，领导者接收到大多数的“复制成功”响应后，就会将日志提交到它自己的状态机，然后返回“成功”响应客户端。如果此时有个节点不在“大多数”中，也就是说它接收日志项失败，那么在这种情况下，Raft 会如何处理实现日志的一致呢？欢迎在留言区分享你的看法，与我一同讨论。

最后，感谢你的阅读，如果这篇文章让你有所收获，也欢迎你将它分享给更多的朋友。

上一篇　07 | Raft算法（一）：如何选举领导者?

下一篇　09 | Raft算法（三）：如何解决成员变更的问题?

精选留言 (21)

写留言

Scott

2020-03-01

我有一个问题，考虑下面这种情况，假设集群有1 leader 多 follower
1. leader发出一条set x = 1，index为最新的appendEntries到所有的follower
2. 只有一台follower响应了，所以leader对client返回fail
3. 这时leader挂了，剩余机器重新进行选举，因为前面那台follower有最新的uncommited的日志，所以它会被选举为leader...

展开

1 4

XHH
2020-02-28

提供一个Raft算法动态演示教程，很清晰： http://thesecretlivesofdata.com/raft/

1 2

葉月喵
2020-02-28

上一章跟随者投票时会比较日志索引号大小，用的是已提交的日志，还是已经复制的日志?

作者回复: 复制的，uncommited的。

1 1

每天晒白牙
2020-02-28

处理日志项一致通过RPC一致性检查，找到追随者中与自己相同日志项的最大索引，然后把后面的日志项同步过去，让追随者复制更新

展开

作者回复: 加一颗星:)

1

每天晒白牙
2020-02-28

老师我有个小疑惑，就是Raft在处理日志不一致时会给追随者发送RPC一致性检查，找到和自己相同日志项的最大值，这里是对每个追随者而言的还是所有的追随者而言的?

作者回复: 每个跟随者:)。日志复制信息，对每个跟随者，都要单独维护的。

2 1

小样
2020-03-01

老师好，我是新来的初学者，问一下日志都是从领导者那里复制的，那么不一致的日志是怎么来的呢？

一步
2020-03-01

比如将 3 节点集群扩容为 5 节点集群，这时候是可能同时出现两个领导者的。这是为什么呢？
有可能由于网络分区，导致新加的两个节点无法和旧的进行通讯，就会选举出来一个新的领导着
解决方法：当网络恢复的时候，可以根据 RPC信息中的 领导者的 Term （以大的为准）...
展开

作者回复: 因为会同时存在两个“大多数”，具体的问题分析和解决办法，09讲具体说说了。

zjm_tmac
2020-03-01

有两个问题，状态机指的是上层应用方的状态机吗？比如etcd-raft对应的状态机是etcd的wal模块吗？另外如果日志已经commit但未apply的情况下提交给状态机失败了，比如唯一性冲突了，这种情况下日志会怎么处理呢？
展开

唐明
2020-03-01

如果领导者没有接收到大多数的“复制成功”响应，那么就返回错误给客户端。
我有个疑问，有ABC三个节点，假设领导者将日志复制给了A节点，在将日志复制给B和C时失败，A节点已经复制的日志项要怎么处理才能不出错呢？
展开

tim
2020-03-01

1. follow 和leader 数据不一致的时候，这时候client来了一个读read请求，怎么避免从follow上read?
2. 如果所有的read都从leader上取数据，follow节点的性能就浪费了。

作者回复: 1. 收到请求后，判断节点是否是领导者节点，如果不是领导者节点，可以这么做，比如，返回领导者节点的信息给客户端，客户端重试并直接访问领导者节点，这是Chubby的做法；或者，将read请求转发给领导者节点；或者，返回Not Leader错误给客户端，客户端重试访问其他节点。
2. 是存在这个问题。

姜川
2020-02-29

三节点变五节点时，按之前逻辑每个节点只能投票一次的话，不应该会出现两个领导者呀

作者回复: 加一颗星:)。可以联合共识或单节点变更，来解决这个问题，09讲会具体说说。

深海极光
2020-02-29

这时，领导者会递减要复制的日志项的索引值，并发送新的日志项到跟随者，这个消息的 PrevLogEntry 值为 6，PrevLogTerm 值为 3。如果跟随者和leader差的远，比如是3，那就是要从7到3要5次RPC调用才能开始同步，是不是有性能问题

展开

作者回复: 在代码实现时，这块可做优化。

振超
2020-02-29

找到与 follower 与 leader 数据一致的交叉点，然后使用 leader 的日志强行覆盖 follower 位于该交差点之后的日志数据

展开

作者回复: 加一颗星:)

Daiver
2020-02-29

当这个跟随者与leader恢复响应后，leader通过rpc日志检查一致性来进行日志同步，但是这里有个问题，如果跟随者跟leader的日志相差太多，那不是会有很频繁的rpc日志检查？

作者回复: 会的，代码实现时可做优化。

Dovelol
2020-02-29

老师好，想问下leader节点发送心跳的频率是多久一次呢？客户端有操作到leader节点，是会立即发送日志复制rpc消息还是说等到next heartbeat的时候发送这个日志复制rpc消息呢？如果在发送日志复制消息的过程中发生了重新选举，会怎么样呢？感觉老师可以多列举下各种异常情况和raft算法的处理。

展开

沈飞龙
2020-02-28

老师 有个疑问，当领导者提交日志到本地状态机后与客户端网络出问题了，此时客户端会以为本次写入不成功，这样就导致客户端与集群信息不一致，该怎么处理呢？

作者回复: 重试，指令操作具有冥等性就可以了，比如，set x = v。

1

Jialin
2020-02-28

1.Raft 日志格式：
• 指令：一条由客户端请求指定的、状态机需要执行的指令。即客户端提交的数据
• 索引值：日志项对应的整数索引值，用来标识日志项的，是一个连续的、单调递增的整数号码
• 任期编号：创建这条日志项的领导者的任期编号...

展开

作者回复: 加一颗星:)

小晏子
2020-02-28

如果有个节点不在“大多数”中，也就是说它接收日志项失败，那么在这种情况下，Raft应该会不断重拾保证该节点能正确接受日志。

展开

作者回复: 不需要设计重试，再次日志复制时，会先复制这个日志项的:)

1

robert_z_zhang
2020-02-28

一致性检查是和日志复制同步做的吗？ 如果不一致的节点较多，需要做多个节点的同步工作，是否会影响同步效率呢?

展开

作者回复: 会有额外的性能开销，相对现在服务器性能而言，开销不大，另外，在绝大部分的时候，系统是稳定运行的，各节点日志也是一致的，直接复制日志，就可以了，比如，这时hashicorp raft会采用pipeline模式进行日志复制。

Purson
2020-02-28

收到失败的情况下，说明节点没有通信故障，按照老师的上面日志一致的例子，有可能是在一致性检查的时候，找不到合适的覆盖点，Raft的领导节点会向前找到日志项，再次向这个失败节点发送一致性检查。

作者回复: 加一颗星:)