

高可用手术机器人远程通信解决方案

远程手术对网络的要求

1. **低延迟**：远程手术需要快速响应和实时操作，因此网络延迟必须保持在极低水平。高延迟会导致手术医生的指令和操作在传输过程中有延迟，影响手术的准确性和安全性。
2. **高带宽**：远程手术需要传输高分辨率的视频流、医学图像和其他相关数据。因此，网络必须具备足够的带宽，以保证高质量的视频和数据传输。
3. **高可靠性**：远程手术对网络的连续性和可靠性有极高的要求。网络中断或不稳定会导致手术过程中的数据丢失、图像模糊或中断，给患者的安全带来风险。
4. **数据安全**：远程手术涉及传输敏感的患者数据和医疗图像。网络必须具备高级的安全措施，以确保数据的加密、隐私和防护，防止数据泄露和非授权访问。
5. **实时通信**：远程手术需要手术医生与手术团队之间的实时通信，包括语音、视频和消息传递。网络必须支持高质量的实时通信，以确保手术团队之间的即时沟通和协作。

以上是远程手术对网络的主要要求，这些要求旨在确保手术的安全性、准确性和高效性。但是目前主流的远程手术技术基于单对 5G 公共网络终端进行传输，不能完全满足要求。

手术所使用5G网络的现状

目前 5G 手术机器人通过两台 5G 网络终端，通过单运营商 5G 公共网络互联，传输机器人之间的操作数据。但其不能可靠满足手术要求：

1. **网络拥塞**：随着 5G 网络的普及，用户数量和数据流量的增加可能导致网络拥塞。在高负载时段或繁忙地区，5G 网络的速度和性能可能会受到影响，导致延迟增加和传输速率下降。
2. **网络抖动**：随之带来的网络延迟增大，及网络抖动等问题。对实时应用程序产生负面影响，例如远程操作反馈慢，声音或图像的断续或卡顿。
3. 单运营商的**稳定性**：一般运营商可以给到客户的单线互联网可用率在 99% 每月。也就是说其网络每月可能中断的时间在 7.2 小时左右，这个对于手术风险很大。
4. 多运营商**切换时间**长：如果采取第二运营商保障，当网络中断时，对网络进行自动切换需要比较长的时间，一般在 10s 以上。

可以看出，在这样的网络条件下，开展 5G 远程网络手术风险很大，所以目前普及度不高。

我们的解决方案

1. 使用**多运营商**代替单一运营商来提高网络稳定性（**高可靠性**）：单个运营商稳定性在 99%，如采用三家不同的运营商线路接入（互相独立），其可靠性则可以达到 **99.9999%**（ $100\% - 1\% * 1\% * 1\%$ ）。可能的每月不稳定时间从原来 7.2 小时降低到 2.6 秒。
2. 终端设备故障**瞬时切换**机制：基于重玄独有的，获得数十项国家和国际发明专利保护的 BYPASS 分布式协调技术，可实现高性能、强一致性的**多活集群**。可在**毫秒级**完成故障检测和故障转移，即使整台终端设备下线，也不会导致系统不可用。**强一致性**保证：即使发生了网络分区也不会出现脑裂（Split Brain）等数据不一致的情形。
3. 高吞吐端到端的安全隧道服务（**高安全性**）：以强加密、强校验等手段，在公网、专线等通信链路上，为用户提供**安全的通信保障**。
4. **高性能**：专利的 N:M 分布式加速技术，为用户提供高吞吐、高载荷比、低延迟、高并发的 VPN 网络通信服务。
5. **低延迟**网络判断和选路：系统自动实时识别底层运营商网络质量，选取最优网络传输的数据报文，达到最佳网络质量效果。

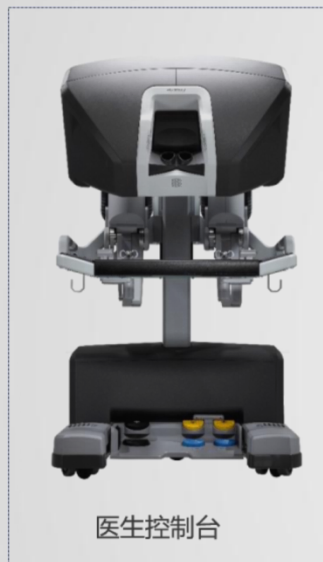
案例



- 上海重玄科技与全球最大的云计算平台 AWS（亚马逊云）合作，为达芬奇手术机器人提供了**强一致、高可用，毫秒级切换**的远程通信保证系统（POC 阶段）。
- 得益于我方成熟的 BYPSS 分布式协调算法以及 BYST 分布式加速通道等国际发明专利技术，远程手术通信平台可在确保强一致的前提下，实现**断线 0ms 切换（零抖动）、设备故障平均 30ms 内切换（最高 50ms）**的极限高可用跨 region 通信保障方案。

远程手术通信平台

广州专家 BYPSS 集群1



BYST-G1



BYST-G2



BYST-G3

移动 SD-WAN

联通 MPLS

电信 5G

BYPSS 集群2

上海医院



BYST-S1



BYST-S2



BYST-S3



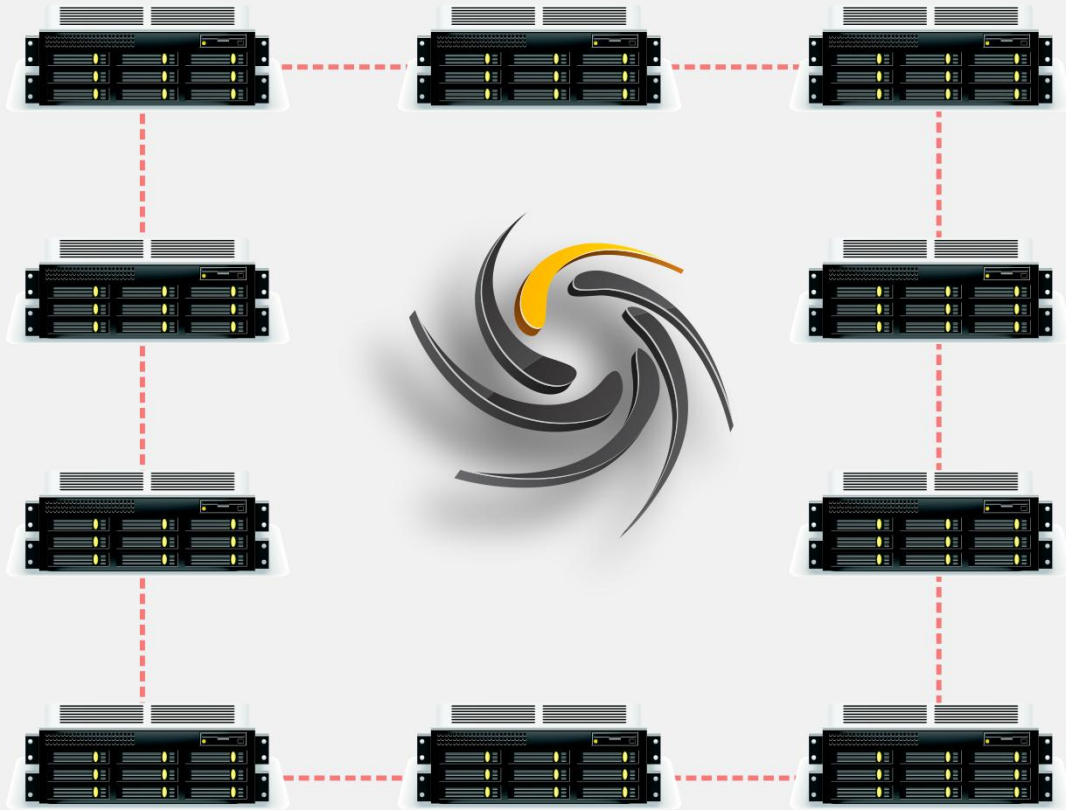
- POC案例：广州专家远程为上海病患实施手术，广州和上海各自通过三个 BYST 节点组成 BYPSS 强一致 HAC 集群。每个 BYST 节点通过不同运营商提供的不同线路与上海配对节点建立连接。
- SLA 保证：移动联通电信三线中，同时两路发生故障仍可零抖动正常工作（0ms切换线路）；BYPSS 集群 1 和 BYPSS 集群 2 中，各自可容忍最高一个节点故障下线，此时保证最大抖动小于 50ms（最高 50ms 内完成节点故障检测和切换）；系统保证数据强一致（不丢包、不乱序、不重复）。

公司简介



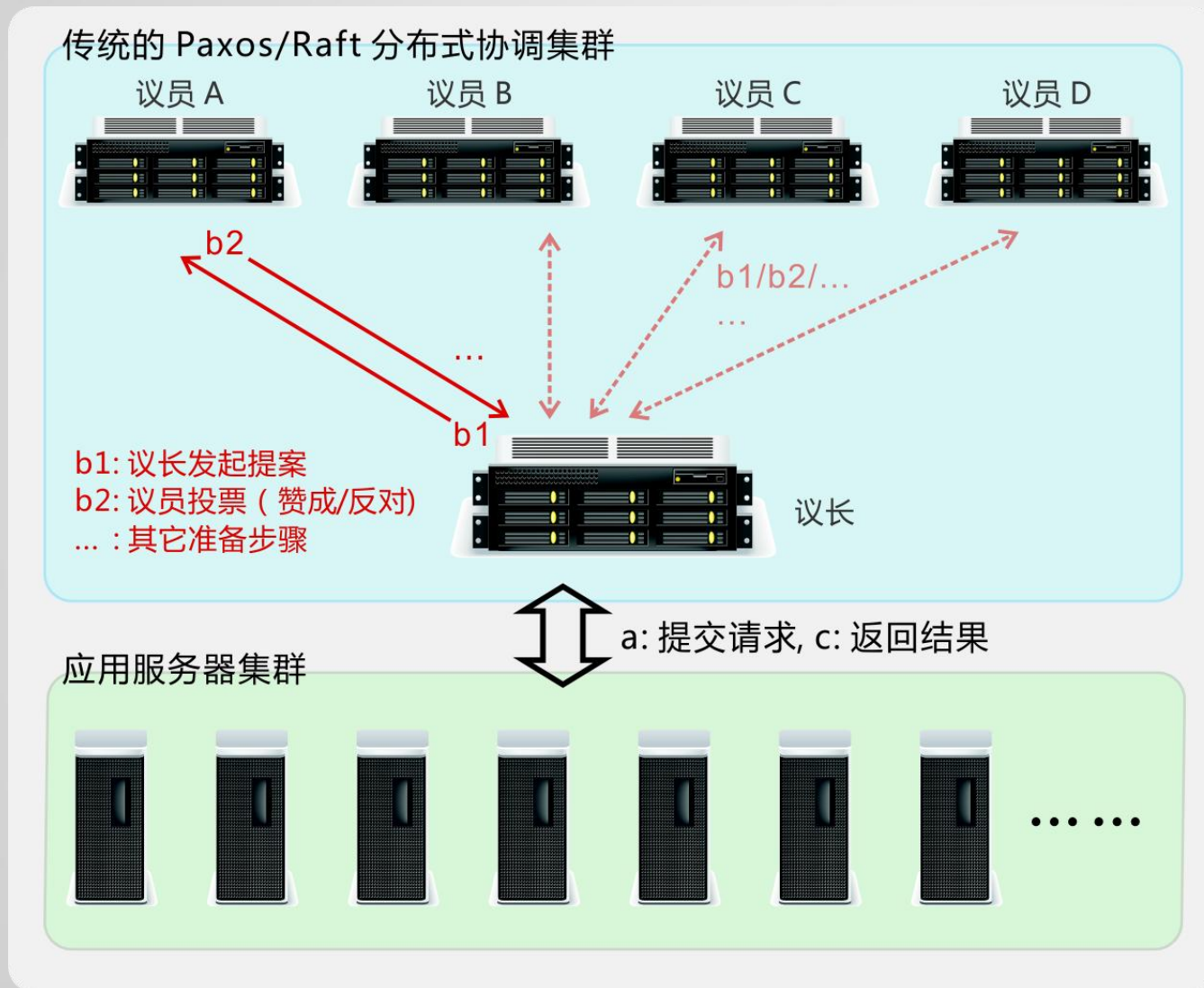
- 上海重玄科技掌握跨平台高效软件开发的领先科技。多年来，我们完成了白杨应用支撑平台、蓝鲸电信计费系统、白豚 ERP 平台，以及 BYCDN、BYST 等多个拥有自主知识产权的自有产品。同时还承接和参与了淘宝/银基云计算平台（阿里云前身）、上海地铁改建工程、SIP 软交换系统、基于 AI 的智能 IoT 仓储等多项重大项目的建设。
- 我方 100% 自主研发的应用支撑平台经过多家 500 强企业实际生产环境以及多个高负载电信、互联网和分布式计算环境十多年验证，具备强一致、高性能、高稳定和高移植性。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 1



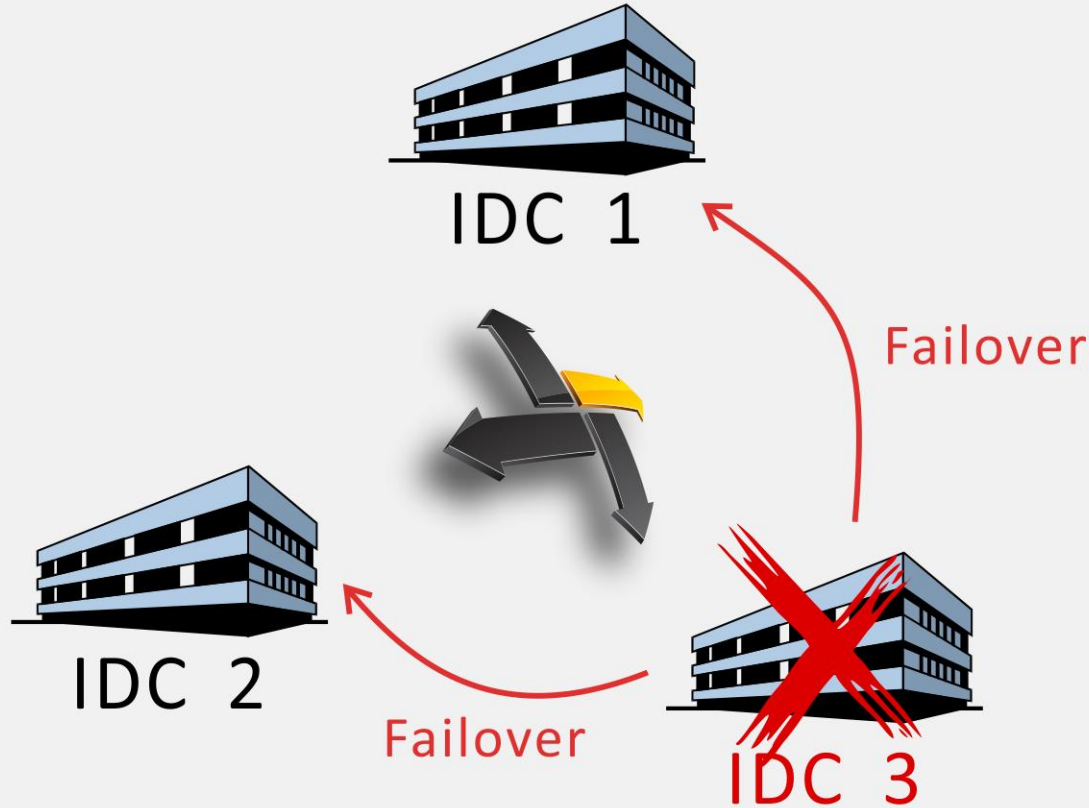
- 分布式协调服务为集群提供服务发现、服务选举、故障检测、故障转移、故障恢复、分布式锁、任务调度，以及消息路由和消息分发等功能。
- 分布式协调服务是分布式集群的大脑，负责指挥集群中的所有协同工作。将分布式集群协调为一个有机整体，使其有效且一致地运转。实现可线性横向扩展的高性能（HPC）和高可用（HAC）分布式集群系统。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 2



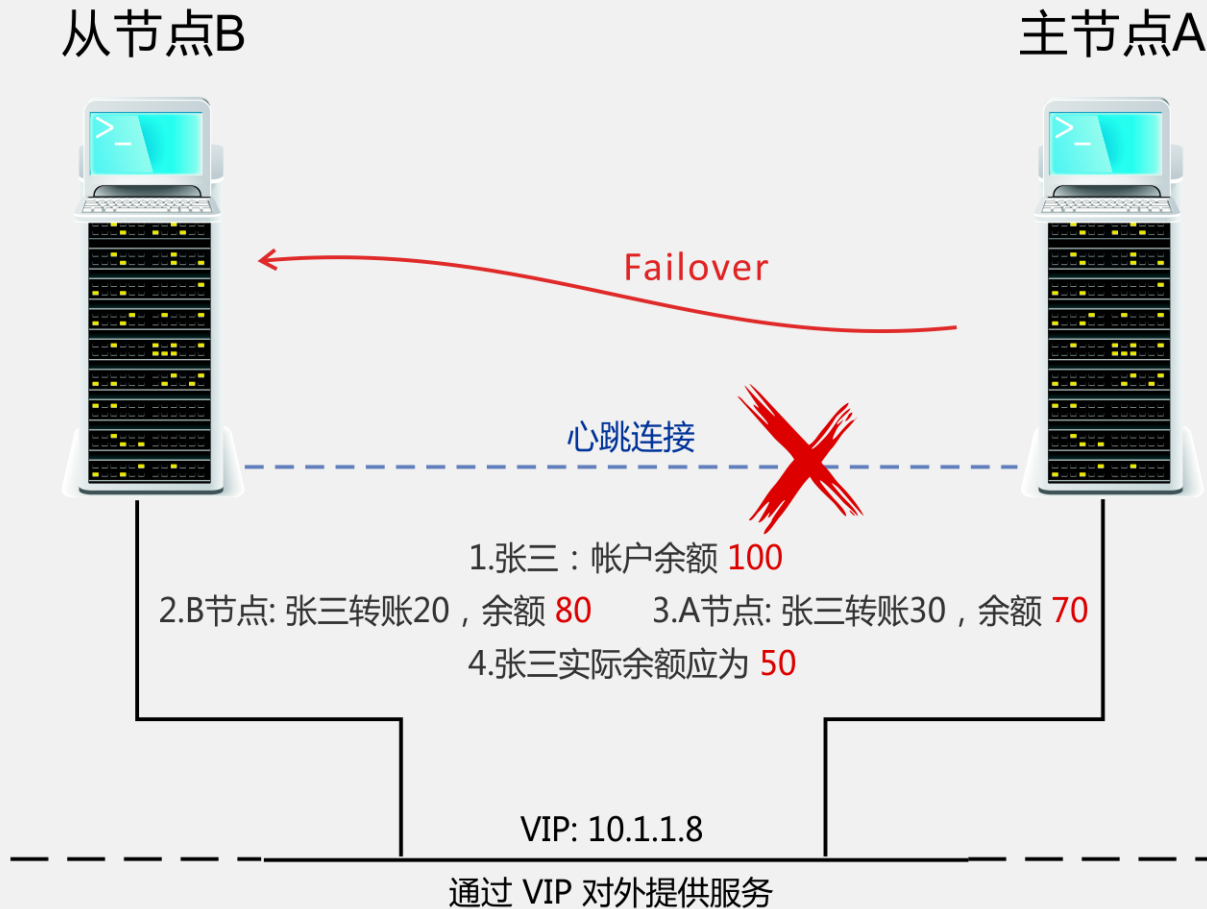
- 传统的 Paxos/Raft 分布式协调算法为每个请求发起投票，产生至少2到4次网络广播和多次磁盘IO。使其对网络吞吐和通信时延要求很高，无法部署在跨 IDC（城域网或广域网）环境。我们的 **BYPSS** 专利算法则完全消除了此类开销。
- 因此大大降低了网络负载，显著提升整体效率。并使得集群跨 IDC 部署（多活 IDC）变得简单可行。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 3



- 基于重玄独有的分布式协调技术，可实现高性能、强一致的多活 IDC 机制。
- 可在毫秒级完成故障检测和故障转移，即使整座 IDC 机房下线，也不会导致系统不可用。
- 强一致性保证：即使发生了网络分区也不会出现脑裂（Split Brain）等数据不一致的情形。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 4



- 传统的双机容错方案中，从节点在丢失主节点心跳信号后，自动将自身提升为主节点，并继续对外提供服务，以实现高可用。
- 当主从节点均正常，但心跳连接意外断开时（网络分区），就会发生**脑裂（Split Brain）**问题：此时 A、B 均认为对方已下线，故将自己提升为主节点并分别对外提供服务，产生难以恢复的数据不一致。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 5

我方 BYPASS 服务可在跨 IDC 的尺度上提供与传统 Paxos/Raft 分布式算法相同水平的强一致性保证，从根本上杜绝脑裂等不一致现象的发生。

类似地：工行、支付宝等服务也有异地容灾方案（支付宝：杭州 -> 深圳、工行：上海 -> 北京）。但在其异地容灾方案中，两座 IDC 之间并无 Paxos 等分布式协调算法保护，因此无法实现强一致，也无法避免脑裂。

举例来说，一个在支付宝成功完成的转账交易，可能要数分钟甚至数小时后才会从杭州主 IDC 被异步地同步到深圳的灾备中心。杭州主 IDC 发生故障后，若切换到灾备中心，意味着这些未同步的交易全部丢失，并伴随大量的不一致。只有在主 IDC 发生大火等毁灭级事故后，运营商才会考虑将业务切换到灾备中心（这也是灾备中心建立的意义所在）。

作为实例：2018 年 9 月 4 日微软美国中南区某数据中心空调故障导致 Office、Active Directory、Visual Studio 等服务下线近 14 小时不可用；2015 年 8 月 20 日 Google GCE 服务中断 12 小时并永久丢失数据；2015 年 5 月 27 日、2016 年 7 月 22 日及 2019 年 12 月 5 日支付宝多次中断数小时；以及 2013 年 7 月 22 日、2023 年 3 月 29 日微信服务中断数小时等重大事故均属于产品未实现多活 IDC 架构，单个 IDC 故障导致服务全面下线的惨痛案例。

因此，异地容灾与我方的强一致、高可用、抗脑裂多活 IDC 方案具有本质区别。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 6

由于消除了 Paxos/Raft 算法中的大量广播和分布式磁盘 IO 等高开销环节，配合支撑平台中的高并发网络服务器、以及并发散列表等组件。使得 BYPSS 分布式协调组件除了上述优势外，还提供了更多优秀特性：

- **批量操作**：允许在每个网络包中，同时包含大量分布式协调请求。**网络利用率极大提高**，从之前的不足 5% 提升到超过 99%。类似于一趟高铁每次只运送一位乘客，与每班次均做满乘客之间的区别。实际测试中，在单千兆网卡上，可实现 **400 万次请求每秒** 的性能。在当前 IDC 主流的双口万兆网卡配置上，可实现 **8000 万次请求每秒** 的吞吐。比起受到大量磁盘 IO 和网络广播限制，性能通常**不到 200 次请求每秒**的 Paxos/Raft 集群，有巨大提升。
- **超大容量**：通常**每 10GB 内存可支持至少 1 亿端口**。在一台插满 64 根 DIMM 槽的 1U 尺寸入门级 PC Server 上（8TB），可同时支撑**至少 800 亿对象**的协调工作；在一台 32U 大型 PC Server 上（96TB），可同时支撑约 **1 万亿对象**的分布式协调工作。相对地，传统 Paxos/Raft 算法由于其各方面限制，通常只能有效管理和调度**数十万对象**。

技术优势：强一致 HAC + HPC 集群计算 - 7

此外，Paxos / Raft 在经历过半节点同时故障下线并维修恢复的过程中，无法保证数据的强一致性，**可能产生幻读等不一致问题。**

例如：在一个三节点集群中，节点 A 因为电力故障下线，一小时后节点 B 和 C 则因为磁盘故障下线。此时节点 A 恢复电力供应重新上线，紧接着管理员更换了节点 B 和 C 的磁盘并让它们分别恢复上线。此时整个集群 1 小时内的修改将全部丢失，集群退回到了 1 小时前 A 节点下线时的状态。

而 BYPSS 则从根本上避免了此类问题的发生，因此 BYPSS 拥有比 Paxos / Raft 更强的一致性保证。

技术优势：BYST 安全隧道 - 1

- 白杨安全隧道服务（BYST，读作“best”）为用户提供了一种端到端的安全隧道服务，其主要作用体现在：
 1. **高安全性**：以强加密、强校验等手段，在公网、专线等通信链路上，为用户提供安全的通信保障。
 2. **高性能**：得益于我方成熟的批量 IO 打包和拆包算法、高性能实时数据压缩算法、专利的分布式 N:M:N 连接动态映射加速算法、以及汇编优化的零拷贝纯异步 IO 组件等各项先进技术，BYST 可为用户提供高吞吐、高载荷比、低延迟、高并发的 VPN 网络通信服务。从而提升网络利用率，节约昂贵的专线费用。
 3. **高可用**：BYST 不但自身无特征，受益于其批量 IO 打包、实时数据压缩以及连接池随机映射等前文所述的技术手段，跑在 BYST 之上的 http、ssl、OpenVPN 等各类载荷业务也将变得难以被识别，因此不必担心被 DPI 等防火墙技术误杀。此外，基于我方拥有多项国际发明专利的 BYPSS 分布式协调算法，BYST 支持抗脑裂的多活 IDC 部署，其服务可用性可达 99.9999%。

技术优势：BYST 安全隧道 - 2

- 密码编码学上的“安全性”主要体现在以下三点：
 1. **保密性**：即使敌手拦截并获取了通信双方的往来的密文，也难以将其还原为明文。即：敌手最多得到通信密文，但无法将其解密。
 2. **可靠性**：敌手无法冒用其它人的身份与对端通信。即：数据接收方可以验证并确认数据是由其期望的发送方发出的。
 3. **一致性**：敌手无法在通信双方不知情的前提下，拦截并篡改消息。即：数据接收方能够验证并确认数据在传输过程中没有被第三方篡改。

技术优势：BYST 安全隧道 - 3

- BYST 通过精心设计的密码编码学方案，全面实现传输安全性：
 1. 选择正确的密码编码学算法和加密模式：BYST 支持 AES、SM4 等数十种业界公认的强加密算法，并为其正确地适配了 CTR、CBC、OFB 等各安全加密模式，确保数据加密过程安全合规。
 2. 高安全性的密钥和 IV 派生算法：任何密码编码学算法都无法保证在密钥、IV 等关键信息被重复使用时的安全性。不同其它产品，BYST 采用了更安全的 PSK/PKI + 强随机 Nonce 的算法来为每一条连接安全地派生出专用的一次性密钥和 IV，从而极大地提升了通信的整体安全性。此外，BYST还支持使用 EAL5+ 级别的专用安全芯片来保护主密钥（可选）。
 3. 正确使用消息验证算法：BYST 支持 HMAC、SHA3 等数十种业界公认的消息验证和数据散列算法，同时还提供了我方自主研发的 Hash64 快速校验算法。不同于许多其它产品，BYST 使用公认安全的 MtE (MAC-then-Encrypt) 模式保证了数据通信的可靠性和一致性。

技术优势：BYST 安全隧道 - 4

超高并发网络服务器组件使用汇编和异步 IO 进行了优化，通过 DMA + 硬件中断实现内存零拷贝的高效异步网络服务。性能、可靠性和可伸缩性都很强。

在 2011 年出厂的，当时售价不足 2 万元人民币的单台至强 5600 系入门级 1U PC Server 上支撑上千万 TCP/HTTP 并发连接（参考白皮书：3.2.1、3.3.1 以及 3.3.2 小节）。相对应地，一般由 Java / .NET 开发的服务器端，在相同配置的机器上，单点最高可支撑 3000 到 5000 并发，PHP 则更低。

得益于极高的单点性能，以及可大规模横向扩展的 BYPSS 分布式高性能专利集群架构。因此 BYST 可提供的并发能力和数据吞吐量在事实近乎没有上限。

除此之外，BYST 还支持多路径负载均衡以及路由自动切换等高性能选项。

技术优势：BYST 安全隧道 - 5

高效、高强度的密码编解码组件：包含公钥算法、对称加密算法、数据编解码、散列和消息验证算法、数据压缩算法等基础功能组件。

支持包括AES (128/256)、SM4、TwoFish、ThreeFish 等在内的数十种业界公认的强加密算法，以及 HMAC、Ploy1305、SipHash、BLAKE2、SHA2、SHA3等数十种安全的消息验证和散列算法。使用 AES-NI、SSE4、AVX 等汇编指令集优化，效率高。在现代主流服务器处理器中可轻松实现单核单线程 5GB/s 的 AES128 加解密性能。

技术优势：BYST 安全隧道 - 6

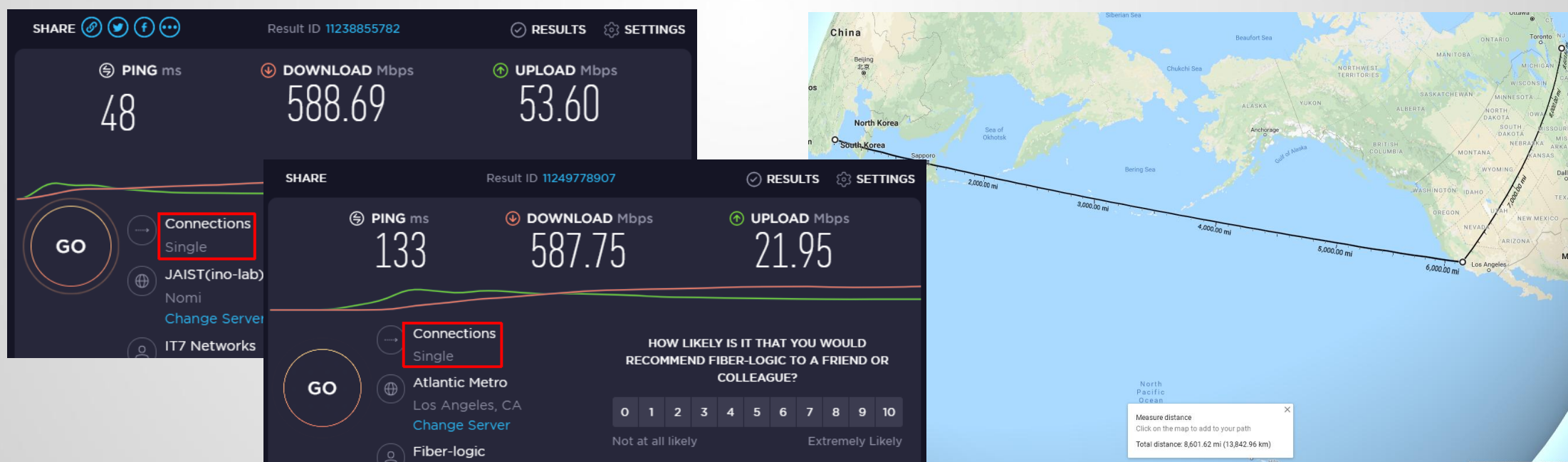
- 成熟的 **IO 批量打包**和拆包算法：IO 批量打包算法将连续到达的零散小数据包集中打包为大数据包，将其集中后，再通过 Secure Tunnel 传输。IO 批量打包机制避免了在网络上为每个小数据包单独分配一层层的专用包头，从而极大地提升了网络载荷比，增加了网络利用率。配合 N:M:N 的专利连接池调度算法，BYST 可以将来自不同连接的小报文组合在一起，并仅通过一次中继 IO 就将他们发送到 Tunnel 对端。这就好比一趟高铁每次只运送一位乘客，与每班次均做满乘客之间的效率差异。
- **IO 拆包算法**则与此相反：它用来将过大的数据块拆分成多个小块，然后再分别发送出去。将较大的数据块拆分可提升底层协议的性能，降低系统非分页池（None-Paged Pool）锁定的负载，提高包交换效率，同时配合专利的 N:M 加速算法提升传输并行性。这就好比集装箱式标准化运输和散装运输之间的效率差异。

技术优势：BYST 安全隧道 - 7

- 高效的**实时数据压缩**算法：BYST 采用高效的 lz4 实时数据压缩算法，可以在数据发送前，先对其进行压缩。配合前文所述的 IO 批量打包机制，在典型的日常办公场景（email、OA、文件服务、在线会议等载荷为主）中，**BYST 最高可为用户节省超过 80% 的网络流量，显著降低了昂贵专线网络的租用成本。**
- 根据不同的实际环境，BYST 可提供**分布式 N:M:N** 以及 1:1:1 等多种连接池调度模型。在我方独有的分布式 N:M:N 动态自适应专利模型中，客户端与服务器之间保持 N 个连接，而 BYST 则在一台或多台网关节点间维护一个拥有 M 个连接的连接池。当某个用户连接产生了 IO 请求时，BYST 会动态地从连接池中挑选一个最优空闲连接来完成该请求。N:M:N 调度算法除了拥有上述可跨连接进行批量 IO 打包等优势外，还可利用多并发连接和多服务器节点进行**分布式带宽聚合**，同时也利于进一步优化传输层流控机制，避免慢启动等问题。在大部分广域网场景中，**该算法均可极大提升网络吞吐率。**

技术优势：BYST 安全隧道 - 8

- 下图展示了一个在上海电信 500M 家用宽带（500Mbps 下行、50Mbps 上行）线路上，通过 BYST 隧道 N:M 动态加速进行**单TCP连接**跨洋的速度测试结果。
- BYST 卓越的性能在跨洋访问后，仅凭**单连接**即可跑满 500M 带宽的极限速度。

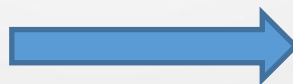


技术优势：BYST 安全隧道 - 9

- 在一个用户的实际使用场景（湖北 —— 美西）中，与直连相比，仅启用了**单节点 N:M 动态加速**和 **IO 批量打包**后的网络吞吐提升就已达 **70 倍**。

```
Reverse mode, remote host 127.0.0.1 is sending
[4] local 192.168.1.6 port 3492 connected to [REDACTED] port 5201
ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[4] 0.00-1.00      sec 277 KBytes  2.27 Mbits/sec
[4] 1.00-2.00      sec 972 KBytes  7.97 Mbits/sec
[4] 2.00-3.00      sec 960 KBytes  7.85 Mbits/sec
[4] 3.00-4.00      sec 962 KBytes  7.89 Mbits/sec
[4] 4.00-5.00      sec 974 KBytes  7.98 Mbits/sec
[4] 5.00-6.00      sec 957 KBytes  7.84 Mbits/sec
[4] 6.00-7.00      sec 967 KBytes  7.92 Mbits/sec
[4] 7.00-8.00      sec 975 KBytes  7.98 Mbits/sec
[4] 8.00-9.00      sec 954 KBytes  7.82 Mbits/sec
[4] 9.00-10.00     sec 974 KBytes  7.98 Mbits/sec
[4] 10.00-11.00    sec 971 KBytes  7.95 Mbits/sec
[4] 11.00-12.00    sec 954 KBytes  7.82 Mbits/sec
[4] 12.00-13.00    sec 971 KBytes  7.95 Mbits/sec
[4] 13.00-14.00    sec 971 KBytes  7.93 Mbits/sec
[4] 14.00-15.00    sec 956 KBytes  7.84 Mbits/sec
[4] 15.00-16.00    sec 972 KBytes  7.97 Mbits/sec
[4] 16.00-17.00    sec 651 KBytes  5.32 Mbits/sec
[4] 17.00-18.00    sec 866 KBytes  7.11 Mbits/sec
[4] 18.00-19.00    sec 968 KBytes  7.92 Mbits/sec
[4] 19.00-20.00    sec 965 KBytes  7.92 Mbits/sec
[4] 20.00-21.00    sec 967 KBytes  7.89 Mbits/sec
[4] 21.00-22.00    sec 965 KBytes  7.92 Mbits/sec
[4] 22.00-23.00    sec 968 KBytes  7.93 Mbits/sec
[4] 23.00-24.00    sec 962 KBytes  7.89 Mbits/sec
[4] 24.00-25.00    sec 962 KBytes  7.89 Mbits/sec
[4] 25.00-26.00    sec 975 KBytes  7.96 Mbits/sec
[4] 26.00-27.00    sec 961 KBytes  7.90 Mbits/sec
[4] 27.00-28.00    sec 965 KBytes  7.90 Mbits/sec
[4] 28.00-29.00    sec 968 KBytes  7.94 Mbits/sec
[4] 29.00-30.00    sec 965 KBytes  7.90 Mbits/sec
-----
ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr
[4] 0.00-30.00     sec 30.9 MBytes  8.63 Mbits/sec  0
[4] 0.00-30.00     sec 27.5 MBytes  7.68 Mbits/sec
```

单节点
提升 70x



```
c:\BYST>iperf3 -c 127.0.0.1 -p 15201 -R -t 30
Connecting to host 127.0.0.1, port 15201
Reverse mode, remote host 127.0.0.1 is sending
[4] local 127.0.0.1 port 12631 connected to 127.0.0.1 port 15201
ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[4] 0.00-1.01      sec 248 KBytes  2.01 Mbits/sec
[4] 1.01-2.01      sec 1.76 MBytes 14.8 Mbits/sec
[4] 2.01-3.01      sec 2.34 MBytes 19.5 Mbits/sec
[4] 3.01-4.00      sec 12.2 MBytes 103 Mbits/sec
[4] 4.00-5.00      sec 21.4 MBytes 180 Mbits/sec
[4] 5.00-6.01      sec 43.1 MBytes 358 Mbits/sec
[4] 6.01-7.01      sec 110 MBytes 920 Mbits/sec
[4] 7.01-8.00      sec 10.1 MBytes 85.4 Mbits/sec
[4] 8.00-9.00      sec 44.1 MBytes 369 Mbits/sec
[4] 9.00-10.00     sec 59.9 MBytes 505 Mbits/sec
[4] 10.00-11.00    sec 112 MBytes 941 Mbits/sec
[4] 11.00-12.00    sec 74.6 MBytes 626 Mbits/sec
[4] 12.00-13.01    sec 96.7 MBytes 805 Mbits/sec
[4] 13.01-14.00    sec 92.5 MBytes 781 Mbits/sec
[4] 14.00-15.00    sec 75.4 MBytes 633 Mbits/sec
[4] 15.00-16.00    sec 72.7 MBytes 609 Mbits/sec
[4] 16.00-17.00    sec 74.3 MBytes 623 Mbits/sec
[4] 17.00-18.01    sec 114 MBytes 940 Mbits/sec
[4] 18.01-19.00    sec 98.4 MBytes 837 Mbits/sec
[4] 19.00-20.01    sec 90.0 MBytes 747 Mbits/sec
[4] 20.01-21.00    sec 74.8 MBytes 633 Mbits/sec
[4] 21.00-22.01    sec 105 MBytes 877 Mbits/sec
[4] 22.01-23.00    sec 95.6 MBytes 807 Mbits/sec
[4] 23.00-24.01    sec 62.1 MBytes 515 Mbits/sec
[4] 24.01-25.01    sec 118 MBytes 991 Mbits/sec
[4] 25.01-26.00    sec 71.7 MBytes 607 Mbits/sec
[4] 26.00-27.00    sec 102 MBytes 859 Mbits/sec
[4] 27.00-28.00    sec 92.6 MBytes 776 Mbits/sec
[4] 28.00-29.01    sec 93.8 MBytes 778 Mbits/sec
[4] 29.01-30.00    sec 93.2 MBytes 788 Mbits/sec
-----
ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr
[4] 0.00-30.00     sec 2.10 GBytes 601 Mbits/sec 15
[4] 0.00-30.00     sec 2.09 GBytes 597 Mbits/sec
```

技术优势：BYST 安全隧道 - 10

- 在一个用户的实际使用场景（AWS 美西 —— 美东）中，与直连相比，仅启用了单节点 N:M 动态加速和 IO 批量打包后的网络吞吐提升就已达 120 倍，打满15Gbps 带宽上限。

```
+root@US-WEST-DB1:/BaiY/ST/client# iperf3 -c 54.87.48.248
Connecting to host 54.87.48.248, port 5201
[ 5] local 172.31.7.50 port 52436 connected to 54.87.48.248 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  11.2 MBytes  93.9 Mbits/sec  0    2.21 MBytes
[ 5]  1.00-2.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  2.00-3.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  3.00-4.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  4.00-5.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  5.00-6.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  6.00-7.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  7.00-8.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.13 MBytes
[ 5]  8.00-9.00    sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.12 MBytes
[ 5]  9.00-10.00   sec  16.2 MBytes  136 Mbits/sec  0    2.17 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  sender receiver
[ 5]  0.00-10.00   sec  157 MBytes  132 Mbits/sec  0
[ 5]  0.00-10.06   sec  156 MBytes  130 Mbits/sec
```



```
root@ip-10-0-0-61:~# iperf3 -c 127.0.0.1 -p 16000
Connecting to host 127.0.0.1, port 16000
[ 5] local 127.0.0.1 port 39892 connected to 127.0.0.1 port 16000
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  1.73 GBytes  14.8 Gbits/sec  25    1.25 MBytes
[ 5]  1.00-2.00    sec  1.81 GBytes  15.6 Gbits/sec  32   1023 KBytes
[ 5]  2.00-3.00    sec  1.82 GBytes  15.6 Gbits/sec  31   1.12 MBytes
[ 5]  3.00-4.00    sec  1.84 GBytes  15.8 Gbits/sec  34   1023 KBytes
[ 5]  4.00-5.00    sec  1.79 GBytes  15.4 Gbits/sec  29    895 KBytes
[ 5]  5.00-6.00    sec  1.81 GBytes  15.5 Gbits/sec  34   1023 KBytes
[ 5]  6.00-7.00    sec  1.82 GBytes  15.7 Gbits/sec  23    1.12 MBytes
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.82 GBytes  15.6 Gbits/sec  32    1.25 MBytes
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.86 GBytes  16.0 Gbits/sec  24    767 KBytes
[ 5]  9.00-10.00   sec  1.74 GBytes  15.0 Gbits/sec  22    1.12 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  sender receiver
[ 5]  0.00-10.00   sec  18.0 GBytes  15.5 Gbits/sec  286
[ 5]  0.00-10.07   sec  18.0 GBytes  15.4 Gbits/sec
iperf Done.
```


技术优势：BYST 安全隧道 - 11

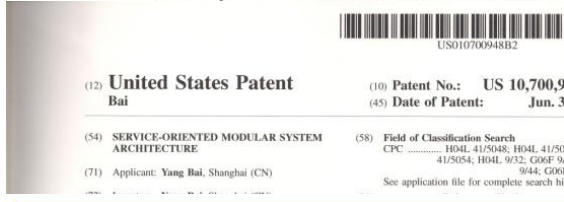
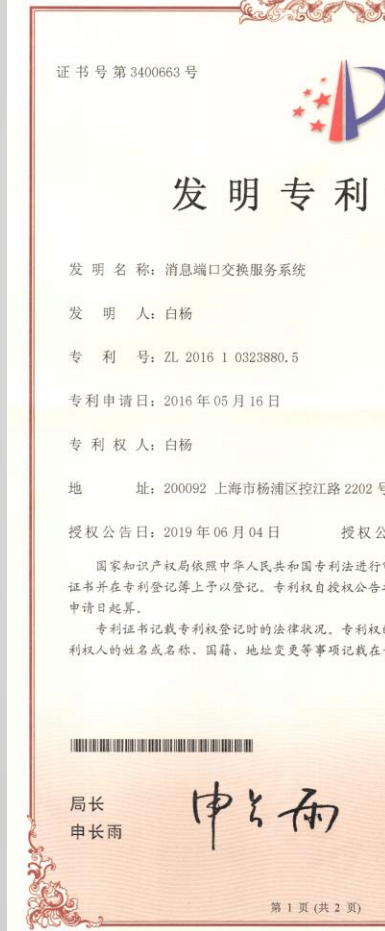
场景	丢包	延迟 ms	无BYST /Mbps	有BYST /Mbps	改进倍率
1A	1%	10	181	11900	66
2A	1%	30	56.5	11100	196
3A	1%	50	40.4	9550	236
4A	1%	100	22.0	6100	277
5A	1%	200	15.5	4860	314
6A	1%	300	12.2	3620	297
1B	3%	10	72.5	11100	153
2B	3%	30	25.9	10300	398
3B	3%	50	19.3	6800	352
4B	3%	100	8.34	5910	709
5B	3%	200	7.18	4830	673
6B	3%	300	4.15	3450	831

场景	丢包	延迟 ms	无BYST /Mbps	有BYST /Mbps	改进倍率
1C	5%	10	53.1	9630	181
2C	5%	30	18.7	9540	510
3C	5%	50s	12.2	6000	492
4C	5%	100	7.72	5860	759
5C	5%	200	4.49	4360	971
6C	5%	300	2.74	2970	1084
1D	10%	10	27.4	6090	223
2D	10%	30	11.5	6090	530
3D	10%	50	7.52	6090	810
4D	10%	100	5.30	5770	1089
5D	10%	200	2.97	3840	1293
6D	10%	300	1.76	2640	1500

场景	丢包	延迟 ms	无BYST /Mbps	有BYST /Mbps	改进倍率
1E	15%	10	14.3	5620	393
2E	15%	30	7.30	5390	738
3E	15%	50	5.16	4850	940
4E	15%	100	2.89	3410	1180
5E	15%	200	2.28	2510	1101
6E	15%	300	1.76	1930	1097
1F	20%	10	7.08	4080	576
2F	20%	30	4.94	3910	791
3F	20%	50	3.74	3820	1021
4F	20%	100	2.56	3570	1395
5F	20%	200	1.45	2870	1979
6F	20%	300	0.974	2030	2084

- 仿真环境：12.5Gbps 链路，三台 Linux Kernel 5.4 节点，tc + iperf3 TCP 单连接性能测试。
- 典型场景：1.省内/江浙沪；2.上海-北京；3.上海-宁夏；4.上海-新加坡；5.上海-美西；6.上海-美东。

技术优势：专利一瞥





重玄科技
PHILO-TECH