# B4: Google's Software-Defined WAN

## Paper Reading

Log Creative

2021 年 10 月 18 日

# 论文

Chi-Yao Hong et al. “B4 and after: Managing Hierarchy, Partitioning, and Asymmetry for Availability and Scale in Google’s Software-Defined WAN”. In: *Proceedings of the 2018 Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication*. SIGCOMM ’18. Budapest, Hungary: Association for Computing Machinery, 2018, pp. 74–87. ISBN: 9781450355674. DOI: 10.1145/3230543.3230545. URL: https://doi.org/10.1145/3230543.3230545

# B4

## Google 私有广域网后端

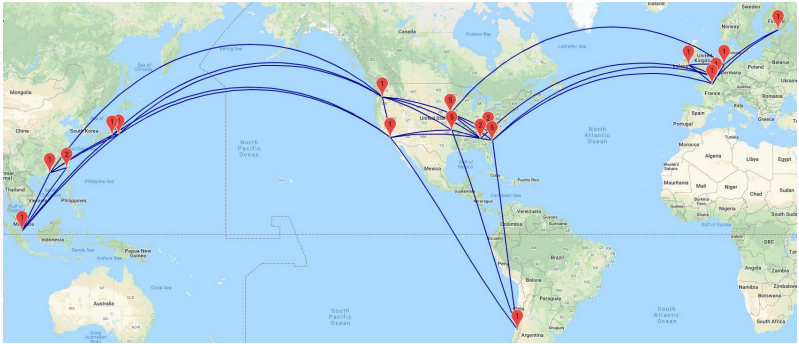
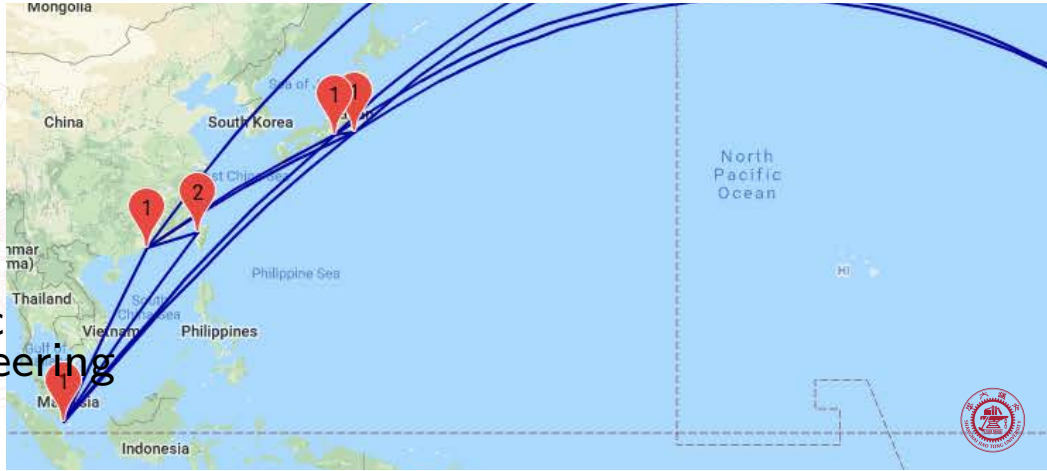



**图:** B4 全球网络

# B4

## Google 私有广域网后端




TE

Traffic Engineering

# SLO

## Service Level Objectives 服务级别协议

表示 30 天滑动窗口内的网络连接可用性和带宽可用性。

| 服务级别 | 应用举例 | SLO需求 |
|---|---|---|
| SC4 | 搜索广告、DNS、WWW | 99.99% |
| SC3 | 照片服务后端、邮件 | 99.95% |
| SC2 | 广告数据库拷贝 | 99.90% |
| SC1 | 搜索索引拷贝 | 99% |
| SC0 | 批量传输 | |

**表:** SLO

# SLO

## Service Level Objectives 服务级别协议

表示 30 天滑动窗口内的网络连接可用性和带宽可用性。

| 服务级别 | 应用举例 | SLO需求 |
|---|---|---|
| SC4 | 搜索广告、DNS、WWW | 99.99% |
| SC3 | 照片服务后端、邮件 | 99.95% |
| SC2 | 广告数据库拷贝 | 99.90% |
| SC1 | 搜索索引拷贝 | 99% |
| SC0 | 批量传输 | |

**表:** SLO

# SLO

## Service Level Objectives 服务级别协议

表示 30 天滑动窗口内的网络连接可用性和带宽可用性。

| 服务级别 | 应用举例 | SLO需求 |
|---|---|---|
| SC4 | 搜索广告、DNS、WWW | 99.99% |
| SC3 | 照片服务后端、邮件 | 99.95% |
| SC2 | 广告数据库拷贝 | 99.90% |
| SC1 | 搜索索引拷贝 | 99% |
| SC0 | 批量传输 | |

**表:** SLO

# 扁平结构

## 不利于扩展和可用性

之前的 B4 若想增加容量，需要在地理限界内增加站点。但这会带来：

1. 增加了中央流量控制优化算法的运行时间。
2. 对交换机有限的流表空间增加压力。
3. 使得容量管理变得复杂并给应用开发者造成麻烦。

# 扁平结构

## 不利于扩展和可用性

之前的 B4 若想增加容量，需要在地理限界内增加站点。但这会带来：

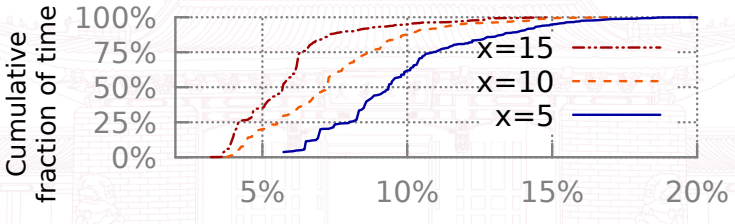
1. 增加了中央流量控制优化算法的运行时间。
2. 对交换机有限的流表空间增加压力。
3. 使得容量管理变得复杂并给应用开发者造成麻烦。

为了解决这个问题，引入 *supernode*（超级节点）和两层架构。

# 分层架构

## 容量不对等问题

B4 中 6–20% 的地理级连接仍然会在 $\geq 5\%$ 的时间内有容量不对等情形。




$$\frac{\text{avg}_{\forall i} C_i - \text{min}_{\forall i} C_i}{\text{avg}_{\forall i} C_i}$$

**图:** 地理级流量不对等

# 不对等的后果

## 大幅减少系统效率

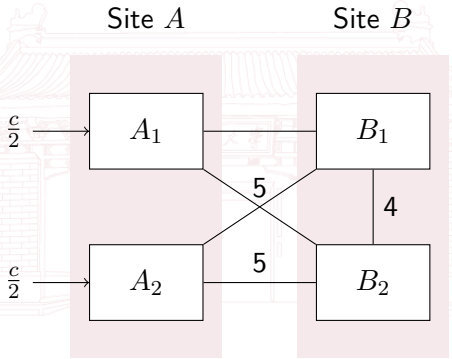
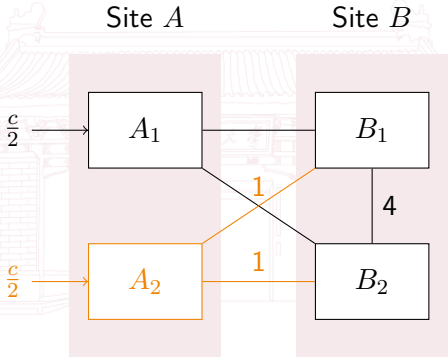



图: 对等

# 不对等的后果

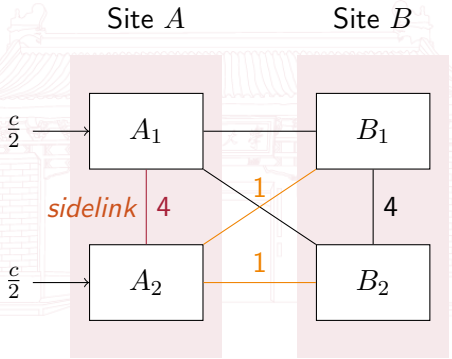
## 大幅减少系统效率




**图：** 不对等示例 $c = 4$

# 不对等的后果

## 大幅减少系统效率




**图：** 不对等示例 $c = 12$

使用 *sidelink* 可以提高不对等时的带宽利用率。但是仍然需要考虑相关的协议问题，比如有些数据不可分割、MAC 地址不可变化，
以及死循环问题，转换隧道可能是原子操作，以任意顺序应用 TE 更新会导致这种死循环率上升，

# 高效交换规则管理

Merchant 交换机只支持有限的匹配和哈希规则。

# Saturn

## 第一代 B4 网络结构

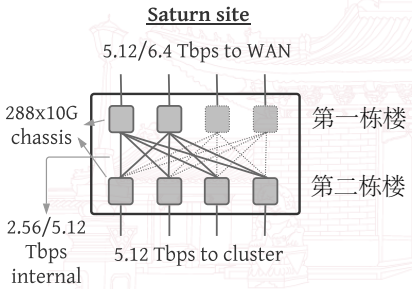



图: Saturn 站点

| | |
|---|---|
| **名称** | Saturn |
| **部署年** | 2010 |
| **类型** | 数据中心 |
| **交换机芯片** | 24x10G |
| **每站点机箱数** | 6 / 8 |
| **站点容量 (Tbps)** | 5.12 EX 2.56 INTER |
| **每站点交换机箱数** | 4 |
| **控制域数量** | 1 |

表: Saturn 站点

# Jumpgate: JPOP

## 仅传输站点

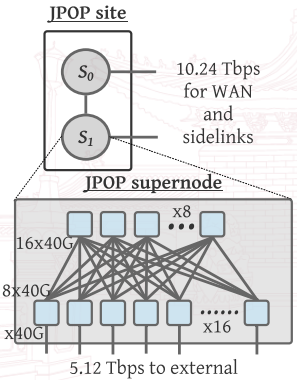



图: JPOP 站点

| | |
|---|---|
| 名称 | JPOP |
| 部署年 | 2013 |
| 类型 | POP |
| 交换机芯片 | 16x40G |
| 每站点机箱数 | 20 |
| 超级节点交换机数 | 24 |
| 站点容量 (Tbps) | 10.24 |
| 每站点交换机箱数 | 4 |
| 控制域数量 | 2 |

表: JPOP 站点

# Jumpgate: Stargate

## 数据中心级

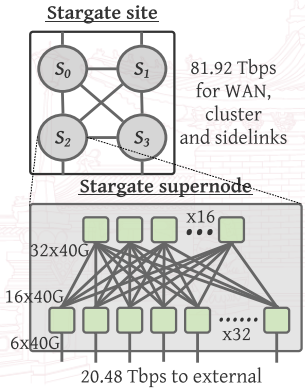



图: Stargate 站点

| | |
|---|---|
| 名称 | Stargate |
| 部署年 | 2014 |
| 类型 | 数据中心 |
| 交换机芯片 | 32x40G |
| 每站点机箱数 | 192 |
| 超级节点交换机数 | 48 |
| 站点容量 (Tbps) | 81.92 |
| 每站点交换机箱数 | 8 |
| 控制域数量 | 4 |

表: Stargate 站点

# Jumpgate: Stargate

## 数据吞吐量大带来的好处

图: 交换机与交换机架

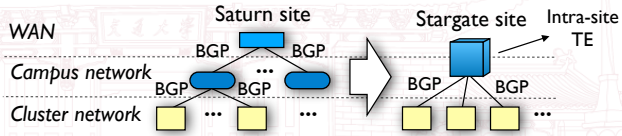



图: 减少 BGP 复杂度

# 简单粗暴的提案

## 平面流量工程

**方法** 直接对站点内所有的超级节点直接应用流量控制。这种模型下，由一个中央控制器使用 IP-in-IP 封装对超级节点级隧道进行负载均衡。

**缺点** 高运行时间、花费大量的交换机流表空间、不可扩展。每个站点内有4个超级节点，那么站点到站点间的3跳转发会有$4^3 = 64$条路径。

# 简单粗暴的提案

## 最短路转发

**方法** 超级节点级链路实现最短路转发。

**优点** 拥有扩展性、只需要一层封装、在广域网失效时能够通过旁路链接完成流量转移。

**缺点** 无法处理容量不对等情形，不是完全失效的情况下无法找到通过旁路链接得到的更长但容量更大的路径。 ▸ 不对等的后果

# 分层流量工程结构

## 概念

**SSG** *Switch Split Group* 确定物理交换机所分割的流量。

**TSG** *Tunnel Split Group* 确定一个链路内的流量分布，分割通过超级节点的流量。

**TG** *Tunnel Group* 通过 IP-in-IP 封装映射 FG 到一个链路*tunnel*集合。

**FG** *Flow Group* ⟨源站点, 目标站点, 服务类别⟩

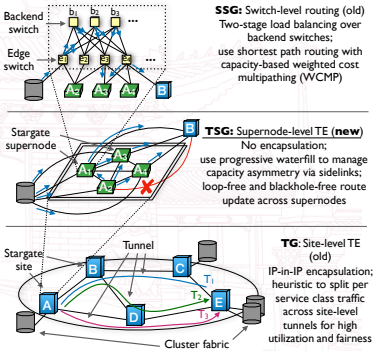



**图:** 不同的流量工程结构

# 分层流量工程结构

## 运行概览

**Algorithm 1:** B4 运行概览

1 域控制器通过聚合可用的物理链路容量来计算超级节点间的连接;
2 中央控制器根据上述结果计算 TSG 来分配每一条站点级的出口连接;
3 **if** 对等 **then** 不使用旁路连接;
4 **else** 通过旁路连接重新分配TSG;
5 使用上述 TSG 结果计算站点级每条链路的有效容量，生成 TG;
6 生成 TE 操作的无环依赖图;
7 通过生成 SSG 分割规则，按照次序对 FG, TG, TSG 编程;


# 谢谢