



面向边缘弱网环境的发布订阅系统

唐震，纪树平，王伟

软件工程技术研究开发中心

tangzhen12@otcaix.iscas.ac.cn, wangwei@otcaix.iscas.ac.cn

系统简介

边缘计算场景中存在**车路协同**等依赖发布订阅系统的大规模应用。

然而，边缘计算场景和云计算场景存在如下不同的特征和限制：

- **弱网环境**：网络环境复杂多变，存在网络抖动，延迟带宽受限

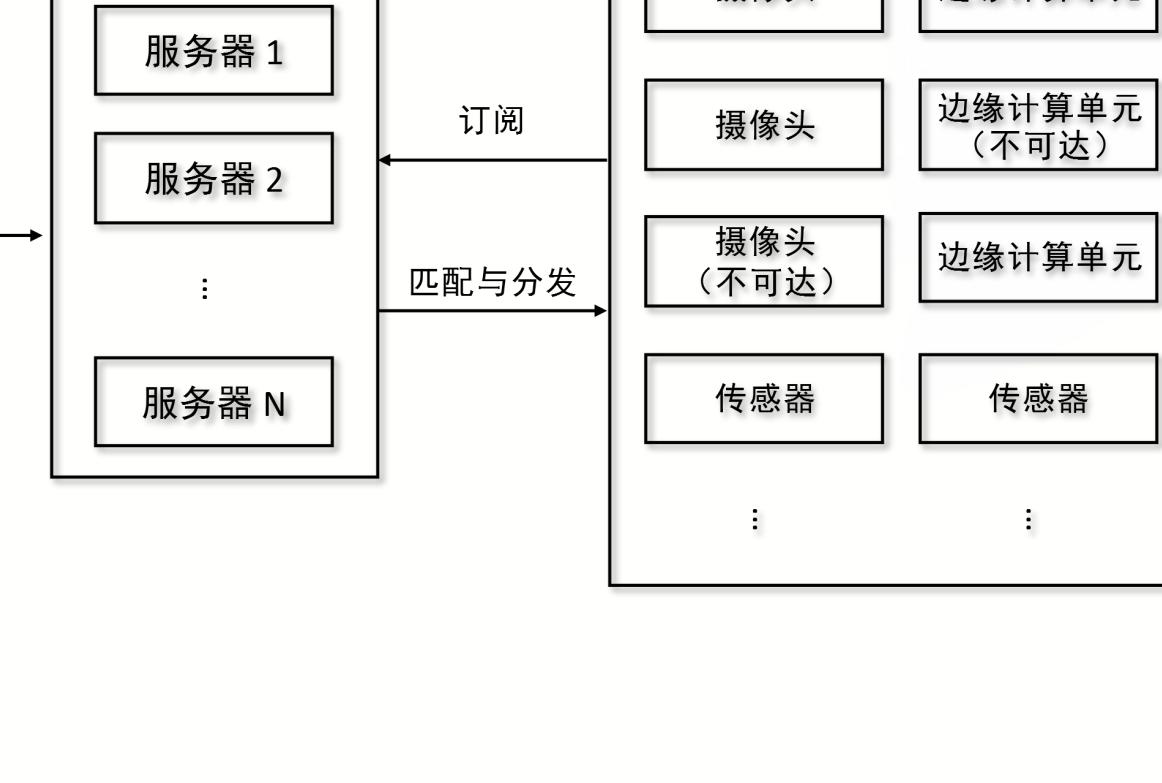
- **节点异构**：存在大量不同种类的设备，可用CPU和内存资源受限

这些特征和限制与需求之间存在矛盾，亟待解决：

- **消息最终送达**：业务数据需要快速可靠到达

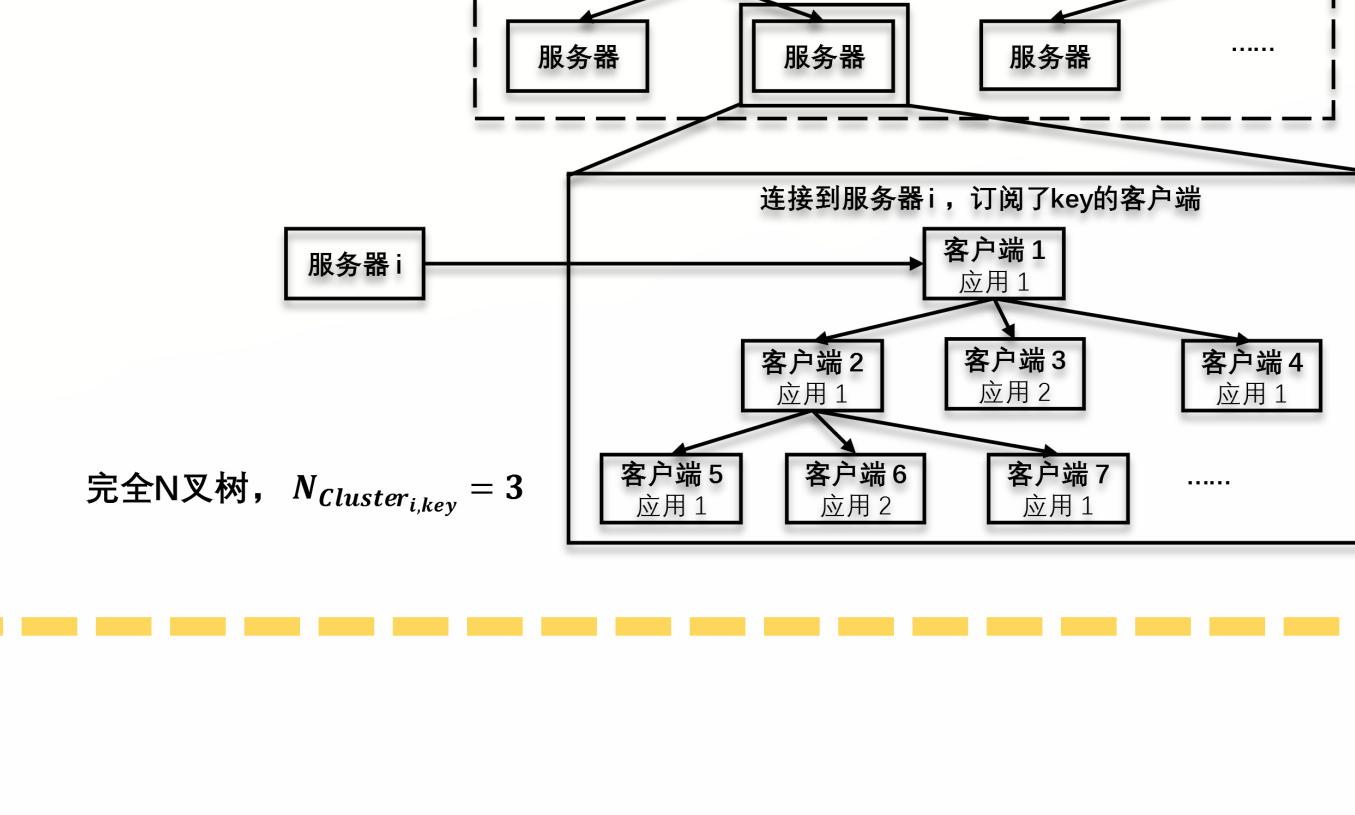
- **应对节点失效**：网络环境抖动不应影响数据传输带来较大影响

为应对上述挑战，我们设计实现了面向边缘弱网环境的发布订阅系统Ripple，引入动态负载均衡等机制有效降低资源使用。

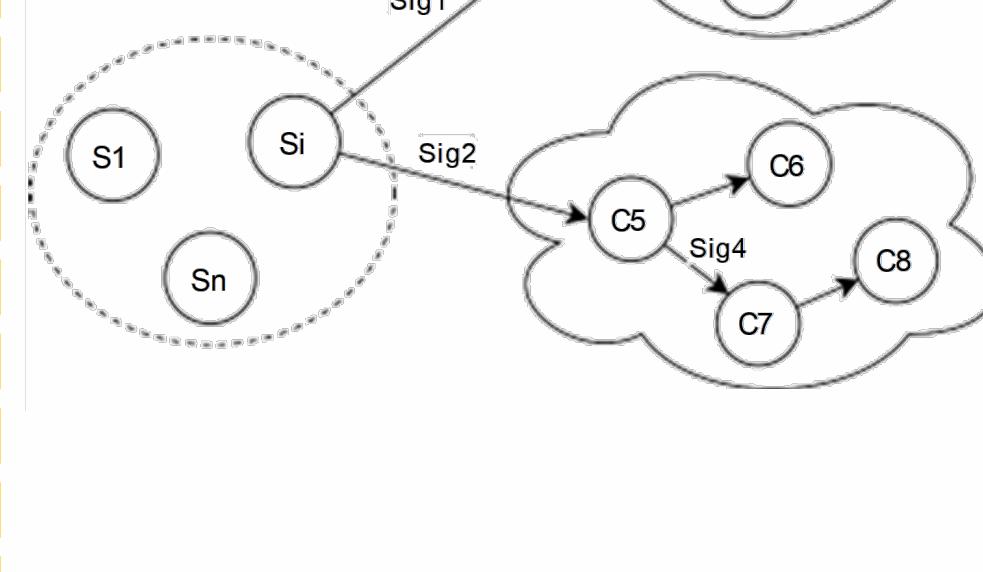


功能指标

- **最终一致性保障**：基于“**绕开不可达节点**”的容错机制、**心跳检查机**制和**ACK位图**机制保障数据最终送达订阅它的节点
- **自定义推送拓扑**：基于生成树的多轮次传播，衍生出适用于不同场景的多种推送拓扑结构：基于完全N叉树，基于一致性哈希，.....
- **客户端协助推送**：将订阅同一主题的客户端组织成生成树，使用客户端的部分计算能力协助进行推送，进一步降低发布订阅系统的开销



创新点

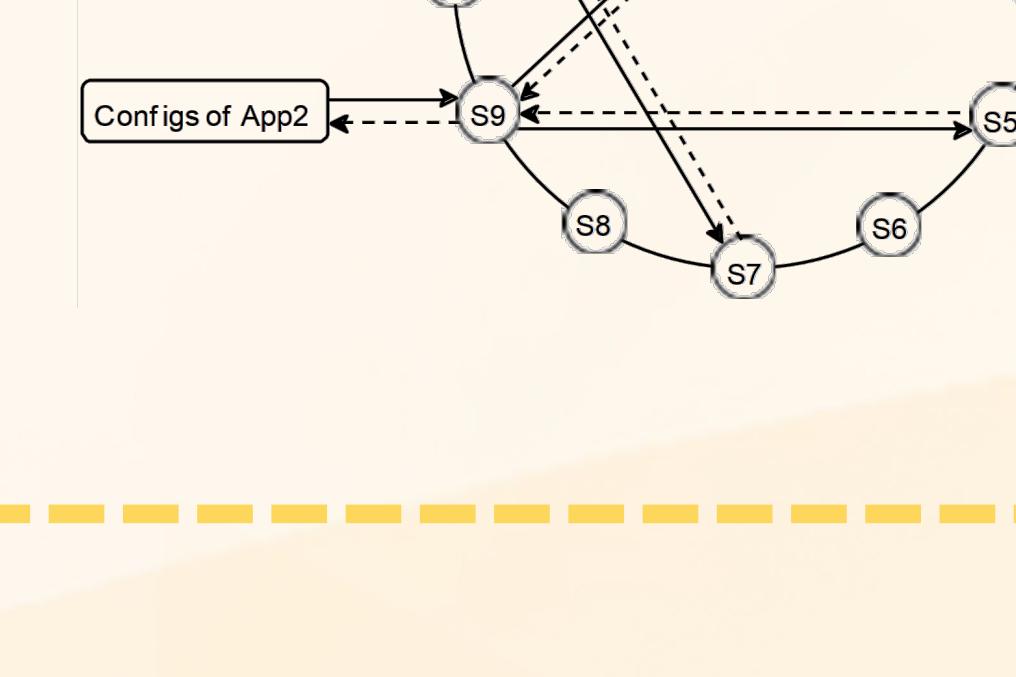


- **一致性哈希**：根据Key计算出数据存储位置，设置备份节点比例，并控制热点Key使用的服务器节点数量，降低服务器集群平均负载
- **客户端列表缓存**：使用客户端列表签名的方式组织订阅同一主题的客户端并指导客户端协助推送数据，避免维持复杂的客户端拓扑，并可降低网络带宽使用
- **增量更新**：对于以Key-Value对存储的数据，引入增量更新降低网络带宽使用
- **动态负载均衡**：使用低开销水平监测服务器和客户端的性能指标和当前负载，及时启用备用节点以防止节点过载

技术细节

一致性哈希和动态负载均衡：

- 对于给定的Key，基于CRC32算法计算初始服务器下标，并根据规则提取服务器列表的子序列
- 根据预定义配置选取特定比例的服务器节点作为备用节点
- 客户端随机选取可用服务器节点连接，完成发布订阅操作，实现节点负载均衡
- 客户端监测到服务器过载后启用备份节点
- 服务器列表变化后由服务器完成数据迁移，对客户端透明

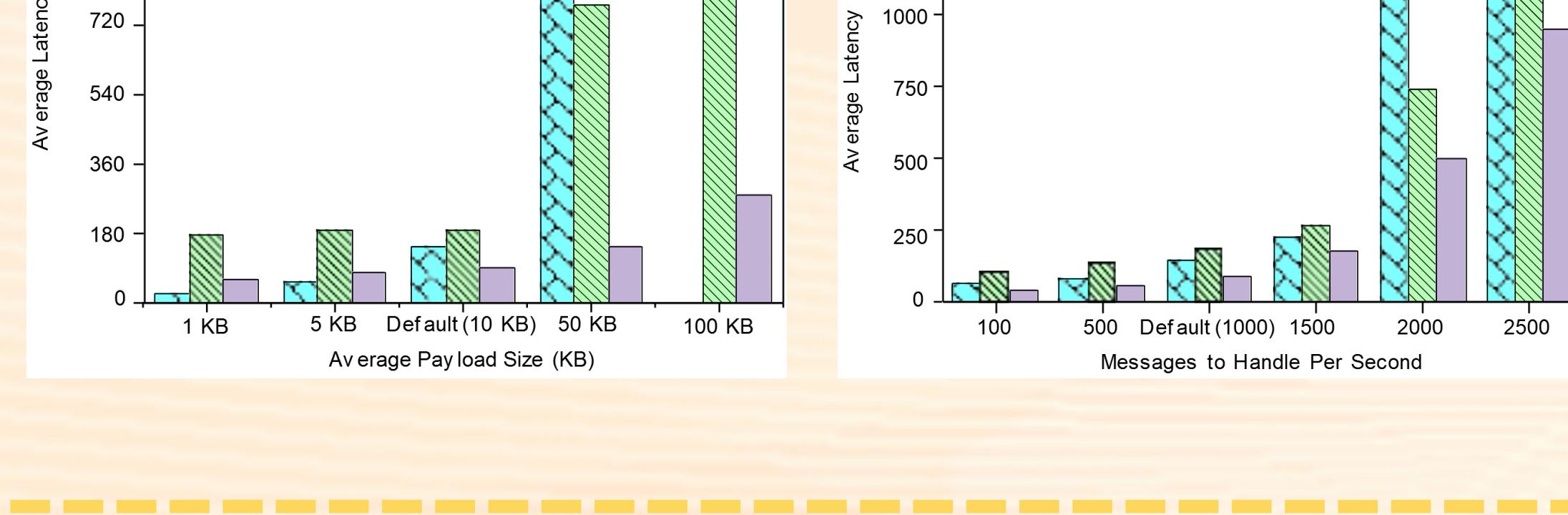


实验结果

与Nacos和PADRES进行了对比实验

- 与PADRES相比，平均降低44.35%的内存使用和93.26%的网络带宽使用
- 在高负载下推送延迟最多降低1个数量级

	Nacos	Padres	Ripple
平均CPU使用率 (%)	41.42	56.37	28.57
平均内存占用 (MiB)	1255.02	1607.61	894.59
平均网络带宽 (KiB/s)	423.69	1837.21	123.82



开源项目地址：<https://github.com/lostcharlie/Ripple>