

doi: 10.7690/bgzd.2024.03.007

基于 QUIC 的无线自组网数据同步算法

郜兴磊, 梅 勇, 龚 俊

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司特种计算机事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对轮询和 gossip 2 种数据同步存在的应用局限性问题, 结合快速 UDP 网络连接 (quick UDP internet connections, QUIC) 传输协议和 gossip 算法的特性, 提出一种基于 QUIC 的无线自组网数据同步算法。介绍 QUIC-gossip 算法的核心原理、数据传输策略和动态拓扑适应性, 并通过实验和性能评估进行验证。结果表明: 该算法能够降低同步数据的延迟, 具有鲁棒性较强、数据传输较快和适应性较强的特点, 为解决无线自组网中的数据同步问题提供了一种新方法。

关键词: QUIC 协议; gossip 协议; 无线自组网; 数据同步

中图分类号: TP391; TN911 **文献标志码:** A

Data Synchronization Algorithm of Wireless Ad Hoc Network Based on QUIC

Gao Xinglei, Mei Yong, Gong Jun

(Department of Special Computer, Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the application limitations of polling and gossip data synchronization, and combining the characteristics of quick UDP internet connections (QUIC) transmission protocol and gossip algorithm, a QUIC-based wireless ad hoc network data synchronization algorithm is proposed. The core principles, data transmission strategies and dynamic topology adaptability of the QUIC-gossip algorithm are introduced and verified through experiments and performance evaluation. The results show that this algorithm can reduce the delay of synchronized data, has the characteristics of strong robustness, fast data transmission and strong adaptability, and provides a new method to solve the data synchronization problem in wireless ad hoc networks.

Keywords: QUIC; gossip; wireless ad hoc network; data synchronization

0 引言

数据同步对于无线自组网中的各种应用, 如路由协议、群组通信、集群协同等, 是必要的^[1]。

常用数据同步方式中, 轮询是每个节点定期向其他节点发送请求, 获取最新的数据状态, 其通信开销大, 网络负载高, 容易造成拥堵和冲突。gossip 是每个节点随机选择一些邻居节点, 交换自己的数据状态^[2], 不需要维护全局的网络信息, 但是会造成较多的冗余数据传输, 降低了数据同步效率^[3]。

为了克服常用方式局限性, 笔者提出了一种面向无线自组网数据同步的 QUIC-gossip 算法。QUIC 协议是基于 UDP 的传输层协议, 具有低延迟、高吞吐量、强安全性等特点^[4], 其基于概率论和随机过程的分布式协议, 具有鲁棒性强、可扩展性好等特点^[5]。本算法使用 QUIC 协议提供一个可靠、快速、安全的数据传输通道, 使用 gossip 协议实现一个高

效、灵活、稳定的数据同步策略。笔者从理论和实验 2 方面对 QUIC-gossip 算法进行了分析和评估, 结果表明, 其在无线自组网中具有较好的数据同步性能。

1 无线自组网数据同步算法

gossip 协议是一种去中心化的分布式协议, 数据通过节点像病毒一样逐个传播。整体传播速度非常快, 具备扩展性、容错、去中心化、一致性收敛、简单的优点。适合于 AP 场景的数据一致性处理。

2 优化算法说明

2.1 算法选择

笔者主要针对应用场景解决以下 3 个问题: 1) 不稳定的连接。在无线自组网中, 节点之间的连接非常不稳定, 包括信号强度不稳定、临时断开和网络拓扑的频繁变化。2) 低延迟需求。自组网需要低

收稿日期: 2024-01-05; 修回日期: 2024-02-05

第一作者: 郜兴磊(1997—), 男, 河南人, 硕士。

延迟的信息传播和数据同步。3) 带宽受限。自组网的通信带宽有限，需要合理规划提高利用率。

此次研究的重点为数据同步场景，数据发生变动时希望尽快到达集群内的所有节点，QUIC 使用了基于 HPACK 的头部压缩算法，对头部信息进行压缩，以减小数据包大小，提高效率。且 QUIC 多路复用特性，在单个 QUIC 连接上，多个数据流可以并行地发送和接收数据，而无需等待前一个数据流完成，更适用于此次的场景。

2.2 流程梳理

在建立连接的过程，相比于传统 TCP 需要 1.5RTT 的“3 次握手”过程，实现了 0RTT 的数据传输，详细对比如图 1 所示。

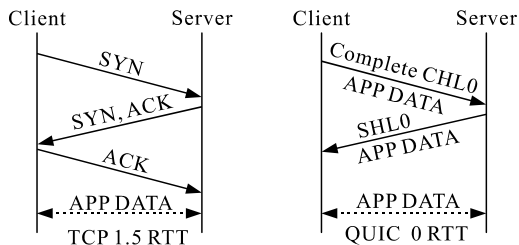


图 1 连接时序

在传输数据阶段，QUIC 相对于 TCP 可以采用更加灵活的网络拥塞算法来规避环境的变化，协议在与应用程序交互时，扩展了多流(stream)抽象，这些流保证各自先进先出的有序性，但相互之间又不存在依赖关系，可以节约连接资源消耗以及对系统资源的消耗，传输过程对比 TCP 如图 2 所示。

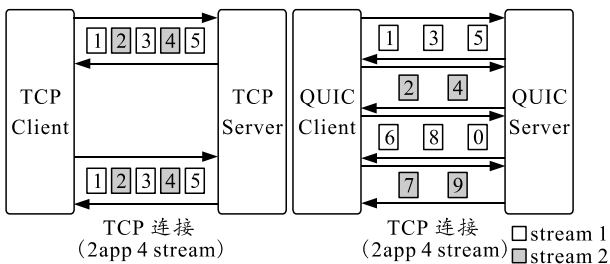


图 2 传输过程

在关闭连接阶段，QUIC 采用的是双向关闭机制，因此每一方都可以发起关闭连接的过程。在发送连接关闭帧后，对端接收到并确认后，可以立即开始关闭过程。与 TCP 对比流程如图 3 所示。

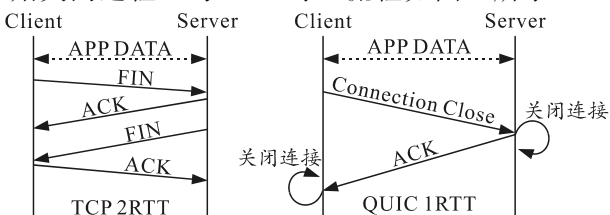


图 3 关闭过程

3 实验设计

3.1 硬件环境

硬件环境采用公司自研的基于瑞芯微 RK3588 板卡作为基础开发平台，已完成适配 OpenEuler 22.03LTS 操作系统，硬件连接关系如图 4 所示。

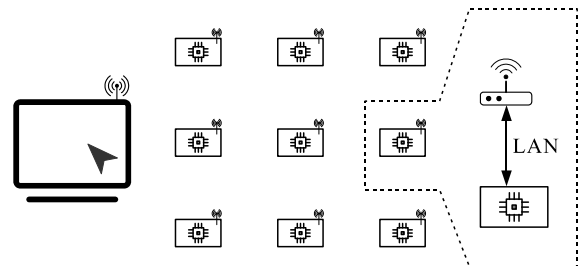


图 4 硬件连接关系

3.2 软件设计

使用 gossip 协议作为同步方式并采用 QUIC 作为传输协议而非传统的 TCP、UDP 协议以适用于复杂多变的无线环境降低消息延迟。单个节点内与应用程序通过 API 通信实现数据的增删改查，并为上游 memberlist 成员关系提供数据基础。单节点关系如图 5 所示。

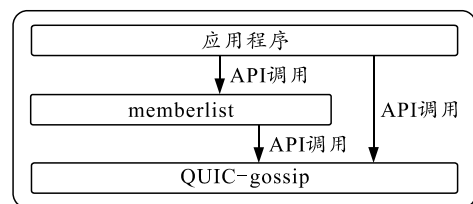


图 5 单节点 API 调用关系

3.3 同步数据延迟测试

传播数据延迟是指从数据源到数据接收者之间的时间差，测试单端延迟会与实际使用存在较大偏差，不同系统的时钟难以达到较高程度的一致性，此处采用往返延迟进行测试，具体操作过程如下：

- 1) 集群中一台设备进行数据 (data0) 的修改；
- 2) 其他设备收到数据 (data0) 更改后立刻自身对应序号的数据 (syncx:x 为设备序号)；
- 3) 发起数据修改的设备统计接收到所有 sync 数据的时间与进行修改的时间差。

步骤 3) 修改数据后进入多进程重复查询状态，直到收到所有 sync 数据，然后进行时间差值计算。为了多维度测试，引入算法以及节点数 2 个维度，验证不同算法对于不同节点状态下的性能表现。同时针对偶尔误差的问题，采用重复测试 100 轮，去掉最大值和最小值取得最终均值的方式实现。