

基于 LAA-WiFi 智慧医疗的网络优化拥塞控制方法

温浩杰, 解韵坤, 姜东亚

(中国人民解放军东部战区总医院, 南京 210002)

摘要: 为了对无线异构共存网络进行优化并对拥塞进行控制, 通过授权辅助接入和无线保真对网络优化模型进行了设计, 并以马尔科夫链来辅助建模; 为了解决吞吐量问题, 对不同公平约束下的最大吞吐量进行了问题优化, 并引入了虚拟队列来对拥塞进行控制; 实验结果显示, LAA-WiFi 模型下共存网络总吞吐量的仿真值最大值为 0.99; 虚拟队列方法下吞吐量的最大值约为 317, 最小值约为 108; LAA-WiFi 模型可以对网络拥塞问题进行缓解, 且其引入的虚拟队列方法可以对吞吐量下降问题进行解决; 研究结果可以扩展到其他的领域, 给不同场景的无线异构共存网络的优化和拥塞控制提供借鉴。

关键词: 共存网络; 拥塞控制; 医疗设备; 优化

Network Optimization Congestion Control Method Based on LAA-WiFi Smart Healthcare

WEN Haojie, XIE Yunkun, JIANG Dongya

(Eastern Theater Command General Hospital, Nanjing 210002, China)

Abstract: In order to optimize wireless heterogeneous coexistence networks and control congestion, a network optimization model is designed through authorization assisted access and wireless fidelity, and Markov chains are used to assist in modeling. To solve the throughput problem, the maximum throughput under different fairness constraints is optimized and virtual queues are introduced to control congestion. The experimental results show that under the LAA-WiFi model, the maximum simulation value of the total throughput of the coexisting network is 0.99. The maximum throughput under the virtual queue method is approximately 317, and the minimum value is approximately 108. The LAA-WiFi model can alleviate network congestion problems, and virtual queue methods are introduced to solve the problem of throughput degradation. The research results can be extended to other fields, it provides a reference for the optimization and congestion control of wireless heterogeneous coexistence networks in different scenarios.

Keywords: coexistence network; congestion control; medical equipment; optimization

0 引言

随着物联网和无线网络等技术的发展, 智慧医疗的发展在逐渐加快。与此同时, 医院和患者对智慧医疗设备的需求在逐渐增加, 医疗无线传感器网络在医疗领域的使用也在逐渐深入^[1]。现阶段的智慧医疗设备主要通过主流的无线协议来进行连接和组网, 且主要在非授权频段进行工作^[2]。由于目前智慧医疗设备数量过多且医疗无线传感器网络被广泛使用, 医疗无线异构共存网络遇到了很多问题, 如因网络拥塞而导致的吞吐量下降等^[3]。网络拥塞是指在分组交换的网络中由于分组数量过多而转发节点资源有限, 导致转发节点无法及时处理这些分组, 造成网络性能下降^[4-5]。

对于这些问题, 大部分研究主要是通过简单的拥塞检测和速率调节机制来对拥塞进行处理, 并没有考虑到信息流量的变化趋势和拥塞的变化过程, 也没有考虑网络传输

的公平性^[6]。此外, 也有一些研究是从频域入手, 通过长期演进网络的动态选择, 在频域上把长期演进信道和无线网络信道给分开。这种办法虽然可以较好地无线异构共存网络的冲突进行避免, 但是也存在节点数量多时效率较低的问题^[7-8]。

为了对智慧医疗设备共存网络的拥塞情况进行更好的缓解, 研究在现有网络优化模型的基础上引入了以虚拟队列为基础的拥塞控制方法^[9]。虚拟队列方法主要涉及两个方面, 第一个方面是先对多路径和服务质量感知路由进行构建, 第二个方面是通过速率调整和主动丢包的策略来对拥塞进行检测^[10]。因此, 研究创新性地提出了基于授权辅助接入和无线保真共存的拥塞控制模型, 且以此为依据建立了不同公平约束下最大吞吐量的问题优化, 并引入了以虚拟队列为依据的拥塞控制方法。

收稿日期: 2023-05-23; 修回日期: 2023-06-02。

基金项目: 东部战区总医院院管项目(YIQN2021081)。

作者简介: 温浩杰(1978-), 男, 大学本科。

通讯作者: 解韵坤(1987-), 男, 大学本科。

引用格式: 温浩杰, 解韵坤, 姜东亚. 基于 LAA-WiFi 智慧医疗的网络优化拥塞控制方法[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(9): 130-136, 143.

1 LAA-WiFi 网络优化模型构建

为了使基于授权辅助接入 (LAA, licensed assisted access) 和无线保真 (WiFi, wireless fidelity) 的网络优化模型更加贴合实际情况, 研究引入了马尔科夫链来辅助建模^[11-12]。在建立模型前, 研究对建模场景的参数进行了假设。假设一是 WiFi 和 LAA 的节点数皆超过 10, 假设二是 WiFi 和 LAA 节点的发送数据充足, 不存在发送缓存为空的现象, 假设三是 WiFi 节点包含了无线接入点 (AP, access point) 和 Station, 且 LAA 节点包含了演进型基站 (eNB, evolved node b) 和用户设备 (UE, user equipment)。对于 LAA 和 WiFi 网络的共存设计, 研究把两种网络中每个节点的缓冲队列头包 (HOL, head-of-line) 当作建模的对象, 并通过马尔科夫链来对其的运行过程进行阐述。HOL 的运行过程可用马尔科夫链表示为 $(X^{(g)}, V^{(g)})$, $\{(X_j^{(g)}, V_j^{(g)}), j = 0, 1, \dots\}$ 。其中, g 表示网络节点, 可取值为 LAA 节点或 WiFi 节点。 $X_j^{(g)}$ 代表在某一个网络节点中经过 j 次转移后 HOL 的状态, $V_j^{(g)}$ 代表 HOL 状态在当前节点中转移 j 次的时刻。HOL 马尔科夫链状态转移过程如图 1 所示。

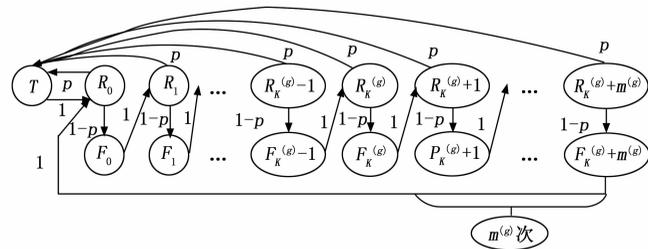


图 1 HOL 马尔科夫链状态转移过程

图 1 中, $K^{(g)}$ 代表最大退避等级, $m^{(g)}$ 表示最大窗口重传次数上限, $W^{(g)}$ 代表网络节点的初始退避窗口。 R 代表 HOL 请求开始传输, F 表示 HOL 此次传输存在冲突, 传输未完成。 T 代表 HOL 正在传输且传输成功, R_i 和 F_i 中的 i 代表 HOL 目前重新传输的次数。当 HOL 传输失败时, 其状态会从 R_i 转变为 F_i , 若相反, 则转变为 T 。因此, 各状态最后呈现的概率如式 (1) 所示。

$$\begin{cases} \pi_{R_i}^{(g)} = \frac{(1-p)^i}{1-(1-p)^{K^{(g)}+m^{(g)}+1}} \pi_T^{(g)} \\ \pi_{F_i}^{(g)} = \pi_{R_i}^{(g)} \cdot (1-p) \end{cases} \quad (1)$$

式中, p 代表 HOL 在信道闲置时成功传输的概率。HOL 在 $X_j^{(g)}$ 状态停留的时间可用时间间隔 $V_{j+1}^{(g)} - V_j^{(g)}$ 来表示。研究假设 LAA 和 WiFi 使用的是允许发送 (CTS, clear to send) 机制和请求发送 (RTS, request to send) 机制。WiFi 节点在 T 状态和 F 状态的平均停留时间计算如式 (2) 所示。

$$\begin{cases} T_T^{(w)} = \frac{(PL + macH)/R_D + (RTS + CTS + ACK)/R_B + ph\gamma H + DIFS + 3SIFS}{\sigma} \\ T_F^{(w)} = \frac{RTS/R_B + DIFS}{\sigma} \end{cases} \quad (2)$$

式中, σ 表示时隙时长, R_D 代表数据速率, PL 为数据包长度。 R_B 为基础速率, $DIFS$ 表示分布式帧间隔, $SIFS$ 代表短帧间隔。 $macH$ 和 $ph\gamma H$ 分别代表介质访问控制层包头和物理层包头, ACK 为确认字符, 其全称为 Acknowledge character。LAA 网络的在 F 状态和 T 状态下以及不同网络在 R 状态下的平均停留时间如式 (3) 所示。

$$\begin{cases} T_T^{(L)} = \frac{T^{(L)} + T_d}{\sigma} \\ T_F^{(L)} = T_F^{(w)} \\ T_{R_i}^{(g)} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1 + W_i^{(g)}}{2} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $W_i^{(g)}$ 表示 HOL 目前重传 i 次时窗口的大小, α 代表节点感知到信道空置的概率, $T_d = DIFS$ 。极限状态的概率表达如式 (4) 所示。

$$\bar{\pi}_j^{(g)} = \frac{\pi_j^{(g)} \cdot T_j^{(g)}}{\sum_{i=0}^{K^{(g)}+m^{(g)}} \pi_{R_i}^{(g)} T_{R_i}^{(g)} + \sum_{i=0}^{K^{(g)}+m^{(g)}} \pi_{F_i}^{(g)} T_{F_i}^{(g)} + \pi_T^{(g)} \cdot T_T^{(g)}} \quad (4)$$

式中, $j \in S$, 且 S 代表 $X^{(g)}$ 的状态空间。 T 状态的极限状态概率为 $\bar{\pi}_T^{(g)}$, 具体表达如式 (5) 所示。

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_T^{(g)} = & 1 / \left(1 + \frac{1-p}{p} \cdot \frac{T_F^{(g)}}{T_T^{(g)}} + \frac{1}{2\alpha p T_T^{(g)}} \cdot \right. \\ & \left. \left(1 + \frac{W^{(g)} p}{1 - (1-p)^{K^{(g)}+m^{(g)}+1}} \cdot \right. \right. \\ & \left. \left. \left(\frac{1 - (2-2p)^{K^{(g)}+1}}{2p-1} + \frac{(2-2p)^{K^{(g)}+1} (1 - (1-p)^{m^{(g)}})}{2p} \right) \right) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

HOL 在共存网络中的状态可以被当作对应节点的状态, WiFi 节点和 LAA 节点的接入成功概率的表达式如式 (6) 所示。

$$\begin{cases} \Pr(WR) = (\Pr\{W_{s1} | CHV\})^{n^{(w)}-1} \cdot (\Pr\{L_{s1} | CHV\})^{n^{(L)}} \\ \Pr(LR) = (\Pr\{W_{s1} | CHV\})^{n^{(w)}} \cdot (\Pr\{L_{s1} | CHV\})^{n^{(L)}-1} \end{cases} \quad (6)$$

式中, WR 代表 Wi-Fi 节点成功传输, W_{s1} 表示 WiFi 节点处于 s_1 状态, CHV 为信道空闲, LR 代表 LAA 节点成功传输, L_{s1} 表示 LAA 节点处于 s_1 状态。 $n^{(w)}$ 表示 WiFi 节点的个数, $n^{(L)}$ 代表 LAA 节点的个数。单个节点的归一化吞吐量为 $\bar{\pi}_T^{(g)}$, 则 LAA 网络和 WiFi 网络各自的网络吞吐量和总吞吐量如式 (7) 所示。

$$\begin{cases} \bar{\lambda}_{out}^{(g)} \approx \alpha p n^{(g)} e^{(g)} T_T^{(g)} \\ \bar{\lambda}_{out} = \bar{\lambda}_{out}^{(w)} + \bar{\lambda}_{out}^{(L)} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $g = W, L$ 。且 $e^{(g)}$ 的表达如式 (8) 所示。

$$e^{(g)} = \frac{2}{1 + \frac{W^{(g)} p}{1 - (1-p)^{K^{(g)}+m^{(g)}+1}} \left(\frac{1 - (2-2p)^{K^{(g)}+1}}{2p-1} + \frac{(2-2p)^{K^{(g)}+1} (1 - (1-p)^{m^{(g)}})}{2p} \right)} \quad (8)$$

网络共存界有两种较为流行的公平原则, 时间公平原则和第三代合作计划 (3GPP, 3rd generation partnership pro-

ject) 公平原则^[13-14]。为了得到最大吞吐量, 研究以 LAA-WiFi 模型为基础, 对这两种公平原则进行了理论约束条件的转化, 并以此为依据建立了最大吞吐量优化问题^[13-14]。时间公平约束下的最大吞吐量优化问题如式 (9) 所示。

$$\begin{cases} W^{(W)}, W^{(L)} & \frac{2}{\left(\frac{1+T_F^{(W)}-T_F^{(L)}p_A}{-p_A \text{In} p_A} - T_F^{(W)}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_T^{(W)}} + \frac{1}{T_T^{(L)}}\right)} + 2 \\ s.t. & n^{(W)} e^{(W)} T_T^{(W)} = n^{(L)} e^{(L)} T_T^{(L)} \end{cases} \quad (9)$$

式中, p_A 为稳定状态下接入概率的稳定点。对于时间公平约束下最大吞吐量优化问题的求解, 研究是先将其转化为等价的公式, 再用数学方法进行求解, 最后再对 p_A 的极值属性进行分析。此外, 研究也对最佳初始退避窗口 $W_m^{(W)}$ 和 $W_m^{(L)}$ 进行了求解。3GPP 公平约束下的最大吞吐量优化问题需要先引入一个参量, 该参量代表 WiFi 节点和 LAA 节点之间吞吐量的比值, 具体的表达如式 (10) 所示。

$$\gamma = \frac{\hat{\lambda}_{out}^{(W)} / n^{(W)}}{\hat{\lambda}_{out}^{(L)} / n^{(L)}} \quad (10)$$

在 3GPP 公平约束下, 最大吞吐量优化问题的建立如式 (11) 所示。

$$\begin{cases} W^{(W)}, W^{(L)}, \gamma & \frac{n^{(W)} \cdot \gamma + n^{(L)}}{\left(\frac{1+T_F^{(W)}-T_F^{(L)}p_A}{-p_A \text{In} p_A} - T_F^{(W)}\right) \cdot \left(\frac{m^{(W)}}{T_T^{(W)}} + \frac{n^{(L)}}{T_T^{(L)}}\right) + n^{(W)} \cdot \gamma + n^{(L)}} \\ s.t. & \frac{\gamma n^{(W)}}{\gamma n^{(W)} + n^{(L)}} \cdot \hat{\lambda}_{out}^\lambda \geq \frac{n^{(W)}}{n^{(W)} + n^{(L)}} \cdot \hat{\lambda}_{max}^{WiFi} \end{cases} \quad (11)$$

对于 3GPP 公平约束下最大吞吐量的求解, 研究先是将优化问题划分为两个独立的问题, 之后再用数学方法进行求解。在对不同公平约束条件下的最大吞吐量求解之后, 研究会通过实验仿真的方式对求解的结果进行验证。

2 拥塞控制方法

为了对智慧医疗设备共存网络的拥塞情况进行更好的缓解, 研究在现有网络优化模型的基础上引入了以虚拟队列为基础的拥塞控制方法。虚拟队列方法主要涉及两个方面, 第一个方面是先对多路径和服务质量感知路由进行构建, 第二个方面是通过速率调整和主动丢包的策略来对拥塞进行检测。路由路径的构建分为三步, 第一步是汇聚节点 Sink 先生成一个任务, 并将其发送到整个网络中。第二步是源节点把和事件相关的请求包发送到 Sink, 第三步是 Sink 把确认包发送到源节点, 并对最终的路由进行构建。确认包一般根据事件的类型分为两类, 其中一类是高优先级确认包, 另一类是低优先级确认包。在构建了路由路径之后, 源节点会开始发送数据到 Sink。数据优先级不同, 节点选择的路由也不同。高优先级路由表中可以到达 Sink 的路只有一条, 而低优先级路由表中可以达到 Sink 的路有许多条。低优先级路由表中记录被转发的概率如式 (12) 所示。

$$DSP_k = (1-a) \frac{1}{HS_k} + a * \left(1 - \frac{D_{Max}(k)}{\sum_{b=1}^m D_{Max}(b)}\right) \quad (12)$$

式中, DSP_k 代表转发概率, k 为第 k 条记录, m 表示节点低优先级路由表的记录总数, a 代表比重因子, HS_k 代表低优先级路由表中第 k 条记录对应的下一跳节点到 Sink 的跳数。 $D_{Max}(b)$ 为节点 b 到 Sink 的最大数据转发时延, $D_{Max}(k)$ 为第 k 条记录到 Sink 的最大数据转发时延。为了对网络的拥塞情况和节点的发送速率等信息进行了解, 研究使用了队列管理机制。该机制下单个节点的虚拟队列模型如图 2 所示。

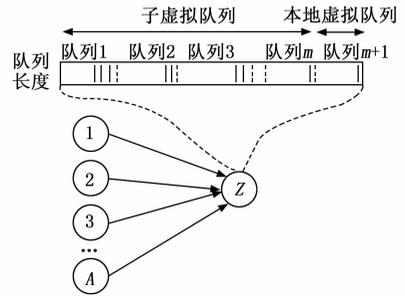


图 2 单个节点的虚拟队列模型

队列管理机制会以节点数量为依据对整个父节点队列进行虚拟地分离。如图 2 所示, 节点 Z 是父节点, 其子节点的数量为 A , 则 Z 节点的队列可以用一个本地虚拟队列和 m 个子虚拟队列来进行虚拟分离。不同节点发送或产生的分组都用自身的虚拟队列来进行存储, 且队列大小的分配主要以流的优先级为依据。经过节点的数据流优先级决定了节点的优先级, 研究把数据流的优先级分为三种, 分别为全局优先级、自身流优先级和转发流优先级。自身流优先级的计算如式 (13) 所示。

$$SP(b) = \sum_E SP_E^b \quad (13)$$

式中, $SP(b)$ 表示节点产生源流的优先级, SP_E^b 代表节点 b 第 E 个传感器产生源流的优先级。转发流优先级的计算如式 (14) 所示。

$$TP(b) = \sum_{b \in C(b)} GP(b) \quad (14)$$

式中, $TP(b)$ 表示节点收到其所有子节点发送的数据流的优先级, $b \in C(b)$ 代表节点的子节点的集合, $GP(b)$ 表示节点的全局优先级。全局优先级的计算即为自身流优先级和转发流优先级之和。对于拥塞的检测, 大部分方法都是使用信道负载, 没有对网络拥塞的变化过程进行考虑, 得出的检测结果基本上也只有拥塞或非拥塞两种情况。为了对网络拥塞检测精度进行提高, 通过队列长度和变化率来对网络拥塞情况进行检测。通过虚拟队列变化情况可以对队列的变化率进行计算, 虚拟队列变化的计算如式 (15) 所示。

$$q_m^b = \frac{q_m^{new} - q_m^{old}}{(QL - q) * CP_m^b} \quad (15)$$

式中, QL 代表节点 b 队列的总长度, q_m^{old} 表示上一周期统计的第 m 个虚拟队列所占用的长度, q 表示节点 b 当前队列所

占用的长度, q_m^{nw} 为当前第 m 个虚拟队列占用的长度, CP_m^b 代表转发流或者自身流在节点全局流中的占比。队列的变化率计算如式 (16) 所示。

$$qv^b = \sum_{m=1}^{M_b+1} qv_m^b * CP_m^b \quad (16)$$

式中, qv^b 代表节点拥塞状态的趋势, $M_b + 1$ 为节点的虚拟队列总数。在对网络拥塞情况进行了解之后, 节点需要进行拥塞信息的反馈。拥塞反馈分为显示反馈和隐式反馈两种方式。基于两种反馈方式各自的特点, 研究选择了隐式反馈方式来进行拥塞的反馈。速率调整主要是以网络的具体状态为依据, 而网络的状态一般分为三种, 分别为拥塞已出现、拥塞将出现和拥塞已清除。当网络已经出现拥塞时, 为了对拥塞进行消除, 需要对子节点的发送速率和自身流的产生速率进行调整。平均服务时间的计算如式 (17) 所示。

$$\bar{\varphi}_i(t) = (1 - \theta) \bar{\varphi}_i(t-1) + \theta \varphi_i(t) \quad (17)$$

式中, t 表示 t 时刻, θ 代表常数系数, $\bar{\varphi}_i$ 为平均服务时间。节点在 t 时刻的最大发送速率如式 (18) 所示。

$$\lambda_b(t) = \min\left(\frac{1}{\bar{\varphi}_i(t)}, \lambda_b^z(t)\right) \quad (18)$$

式中, $\lambda_b^z(t)$ 表示 t 时刻节点 b 的父节点 Z 分配给节点 b 的发送速率。子节点和自身流发送速率调整权重计算如式 (19) 所示。

$$\xi_m^b(t) = \frac{CP_m^b \Psi_m^b(t)}{\sum_{m=1}^{M_b+1} CP_m^b * \Psi_m^b(t)} \quad (19)$$

式中, 为 t 时刻节点 b 中第 m 个虚拟队列的拥塞程度。子节点发送速率和自身流的产生速率分配如式 (20) 所示。

$$\lambda_m^b(t) = \xi_m^b(t) * \lambda_b(t) \quad (20)$$

当队列长度在拥塞避免区时, 需要对队列的变化率进行判断。队列的变化率越大, 节点的队列波动就越大。此时的产生速率计算如式 (21) 所示。

$$\tau_m^b = \tau_m^{b'} * \left(1 - \eta * qv_m^{b'} * \frac{1}{M_b + 1}\right) \quad (21)$$

式中, $\tau_m^{b'}$ 为子节点与自身流调整前的速率, η 代表速率调整因子, $qv_m^{b'}$ 表示节点 b 的第 m 个子虚拟队列或本地虚拟队列的变化率。速率恢复的计算如式 (22)。

$$\begin{cases} \tau_m^b = \tau_m^{b'} + \beta \vartheta_m^b \\ \vartheta_m^b = \frac{l_1 * QL - q}{l_1 * QL} * CP_m^b \end{cases} \quad (22)$$

式中, β 为速率调节因子, l_1 为阈值, ϑ_m^b 表示调节子节点的发送速率和自身流的产生速率的参数。为了避免网络拥塞导致的数据丢失, 传统的方法是增大缓存空间。这种方法虽然可以在一定程度上对数据丢失进行避免, 但也会增加端到端的时延。为了减少分组时延和增加网络吞吐量, 研究采用了主动丢包策略。该策略是在传感器节点检测到网络出现拥塞时, 通过队列的变化率和长度来对丢包概率进行计算。丢包概率计算公式如式 (23) 所示。

$$v_d = \delta_1 * qv + \delta_2 * \frac{q}{QL} \quad (23)$$

式中, v_d 代表丢包概率, δ_1 和 δ_2 为比重系数, qv 表示队列的

变化率。 qv 值越大, 拥塞越严重, v_d 值也就越高。

3 实验结果与分析

3.1 网络优化实验结果与分析

根据 LAA-WiFi 智慧医疗设备的共存网络优化模型, 研究找到了网络吞吐量等表达式。本部分主要对共存网络优化模型及表达式等结果进行验证, 如吞吐量和网络节点数量的相关性等。LAA-WiFi 模型共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络在不同节点的吞吐量和 LAA 节点及 WiFi 节点在不同节点数量下的接入成功概率如图 3 所示。

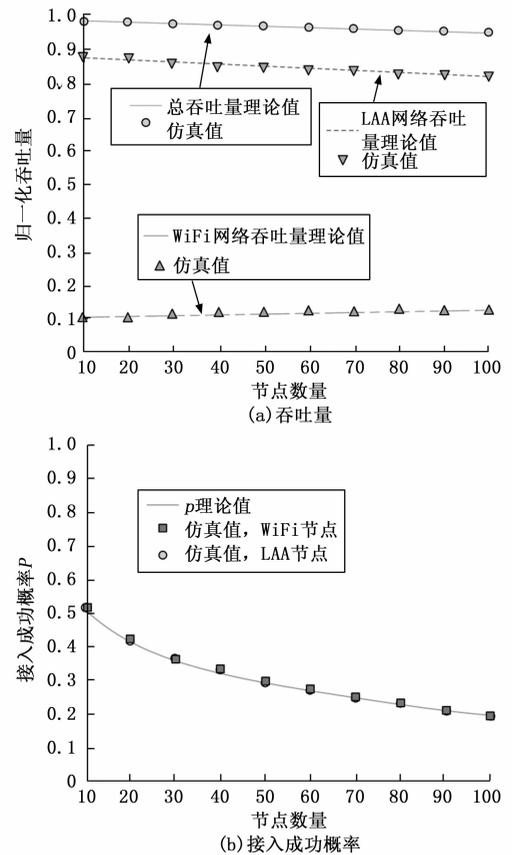


图 3 不同网络吞吐量和不同节点的接入成功概率

通过图 3 (a) 可以得知, LAA-WiFi 模型共存网络总吞吐量的理论值最大值为 0.99, 最小值为 0.95, 平均值为 0.97。LAA 网络吞吐量的理论值最大值为 0.88, 最小值为 0.81。WiFi 网络吞吐量的理论值最大值为 0.12, 最小值为 0.10。三种网络的吞吐量仿真值和理论值数值基本吻合。LAA-WiFi 模型共存网络和 LAA 网络的吞吐量皆是随着节点的增加而减少, 而 WiFi 网络的吞吐量是随着节点的增加而增加。通过图 3 (b) 可以看出, 接入成功概率的理论值最大值为 0.51, 最小值为 0.20。LAA 节点和 WiFi 节点的接入成功概率仿真值和理论值基本吻合, 但是二者仿真值的最大值和理论值不一样。LAA 节点和 WiFi 节点仿真值的最大值皆为 0.52。随着节点数量的增加, LAA 节点和 WiFi 节点的接入成功概率也在下降。由此可见, 信道接入成

功概率及网络吞吐量都和节点数量有关。不同传输时长下不同网络的吞吐量和不同节点的接入成功概率如图 4 所示。

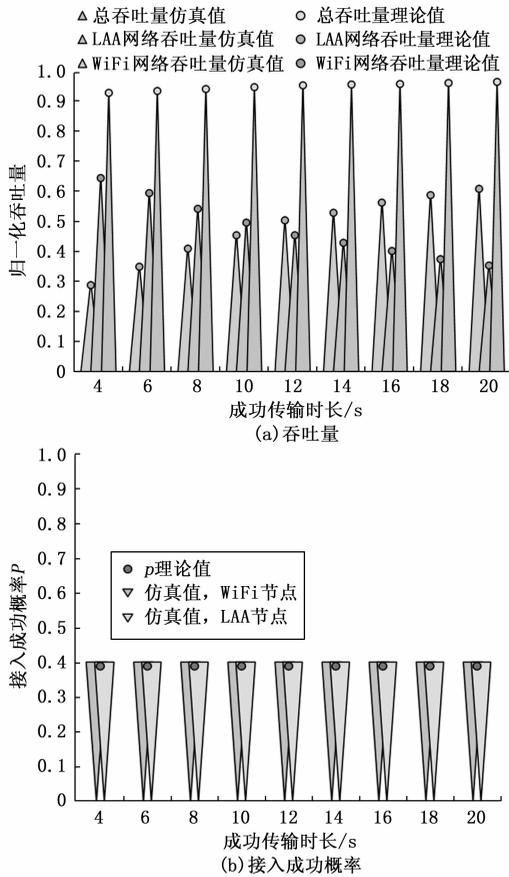


图 4 不同传输时长下不同网络的吞吐量和不同节点的接入成功概率

由图 4 (a) 可知, LAA-WiFi 模型共存网络总吞吐量的理论值最大值为 0.97, 最小值为 0.95。LAA-WiFi 模型的吞吐量随着成功传输时长的增加而缓慢增加。LAA 网络吞吐量的理论值最大值为 0.66, 最小值为 0.37。LAA 网络的吞吐量随着成功传输时长的增加而减少。WiFi 网络吞吐量的理论值最大值为 0.6, 最小值为 0.3。WiFi 网络的吞吐量随着成功传输时长的增加而逐渐增加。三种网络的吞吐量仿真值和理论值数值基本吻合。通过图 4 (b) 可以看出, WiFi 节点和 LAA 节点接入成功概率的理论值和仿真值皆没有变化。由此可知, 接入成功概率和成功传输时长没有相关性, 网络吞吐量和成功传输时长有关。不同 LAA 节点初始退避窗口下不同网络的吞吐量和不同节点的接入成功概率如图 5 所示。

通过图 5 (a) 可以看出, LAA-WiFi 模型共存网络总吞吐量的理论值最大值为 0.98, 最小值为 0.93。LAA 网络吞吐量的理论值最大值为 0.86, 最小值为 0.1, 且吞吐量整体变化幅度较大。WiFi 网络吞吐量的理论值最大值为 0.84, 最小值为 0.13, 且吞吐量整体变化幅度较大。WiFi 网络的吞吐量是随着初始退避窗口的增加而增加, LAA-

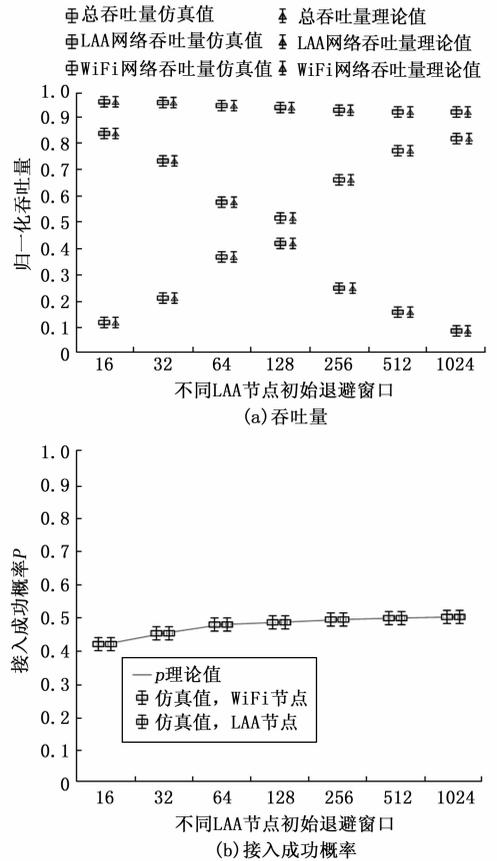


图 5 不同 LAA 节点初始退避窗口下不同网络的吞吐量和不同节点的接入成功概率

WiFi 模型和 LAA 网络的吞吐量是随着初始退避窗口的增加而减少。三种网络的吞吐量仿真值和理论值数值基本吻合。通过图 5 (b) 可以得知, WiFi 节点和 LAA 节点的接入成功概率基本一致, 且其理论值和仿真值的数值大致吻合。随着初始退避窗口的增加, 接入成功概率也在缓慢地上升。当初始退避窗口足够大时, 接入成功概率基本不变。由此可见, 网络吞吐量和接入成功概率都与初始退避窗口有关, 且初始退避窗口对网络吞吐量的影响较大。以 LAA-WiFi 共存网络的理论模型为依据, 研究通过公式对时间公平和 3GPP 公平约束进行了表达。同时, 通过对不同公平约束下网络最大吞吐量优化问题的求解, 研究发现了在不同约束条件下最大吞吐量和节点数量等内容的相关性。时间公平约束下标准参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量如图 6 所示。

由图 6 (a) 可知, 在 LAA 接入优先级为 1 时, LAA-WiFi 共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络吞吐量的理论值都和仿真值基本一致。LAA-WiFi 共存网络吞吐量的最大值为 0.85, 最小值趋近于 0。LAA 网络吞吐量的最大值为 0.8, 最小值也趋近于 0。WiFi 网络吞吐量的最大值为 0.03, 最小值趋近于 0。随着节点数量的增加, LAA-WiFi 共存网络和 LAA 网络的吞吐量先较为迅速地下降再较为缓慢地下降。WiFi 网络吞吐量是随着节点数量的增加而缓慢减少。

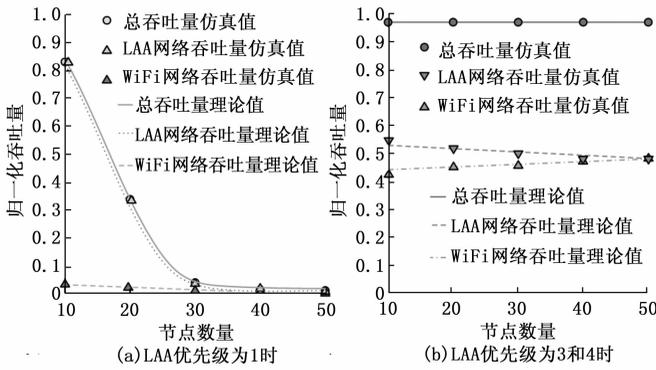


图 6 时间公平约束下标准参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量

通过图 6 (b) 可以看出, 在 LAA 接入优先级为 3 和 4 时, LAA-WiFi 共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络吞吐量的理论值都和仿真值基本一致。LAA-WiFi 共存网络吞吐量的最大值为 0.99, 最小值为 0.98。LAA 网络吞吐量的最大值为 0.54, 最小值为 0.5。WiFi 网络吞吐量的最大值为 0.5, 最小值为 0.45。LAA-WiFi 共存网络和 LAA 网络的吞吐量都是随着节点数量的增加而缓慢减少, 且 LAA-WiFi 共存网络的吞吐量下降得更慢。WiFi 网络吞吐量是随着节点数量的增加而增加。由此可见, 当 LAA 接入优先级过高时, 其和 WiFi 网络之间基本不存在公平性, 网络空间基本上都被 LAA 网络给占据。此时节点数量越多, LAA 网络和 WiFi 网络就越容易崩溃。时间公平约束下优化参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量如图 7 所示。

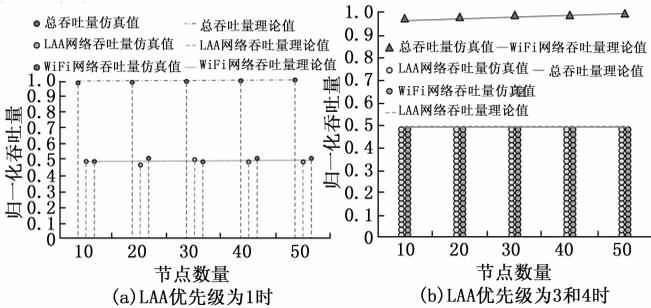


图 7 时间公平约束下优化参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量

通过图 7 (a) 可以得知, 在 LAA 接入优先级为 1 时, LAA-WiFi 共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络吞吐量的理论值都和仿真值基本一致, 且这些网络吞吐量的理论值和仿真值基本上都没有变化。由图 7 (b) 可知, 在 LAA 接入优先级为 3 和 4 时, LAA-WiFi 共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络吞吐量的理论值都和仿真值基本一致, 且这些网络吞吐量的理论值和仿真值基本上也都都没有变化。由此可见, 在时间公平优化下最大吞吐量和节点数量无关。3GPP 公平约束下标准参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量如图 8 所示。

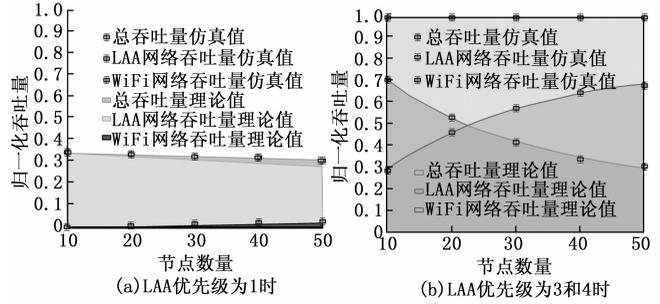


图 8 3GPP 公平约束下标准参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量

由图 8 (a) 可知, 在 LAA 接入优先级为 1 时, 三种网络的吞吐量仿真值和理论值数值基本吻合。LAA-WiFi 共存网络理论值和仿真值的最大值皆为 0.35, 最小值皆为 0.32。LAA 网络理论值和仿真值的最大值皆为 0.35, 最小值皆为 0.3。WiFi 网络理论值和仿真值的最大值皆为 0.04, 最小值皆趋近于 0。此时, WiFi 网络的吞吐量比其他网络的吞吐量要小很多。LAA-WiFi 共存网络和 LAA 网络的吞吐量是随着 wifi 节点的增加而逐渐减少, WiFi 网络的吞吐量是随着 wifi 节点的增加而缓慢增加。通过图 8 (b) 可以得知, 在 LAA 接入优先级为 3 和 4 时, 三种网络的吞吐量仿真值和理论值数值基本吻合。LAA-WiFi 共存网络理论值和仿真值的最大值接近于 1, 最小值皆为 0.98。LAA 网络理论值和仿真值的最大值皆为 0.7, 最小值皆为 0.3。WiFi 网络理论值和仿真值的最大值皆为 0.69, 最小值皆趋近于 0.3。LAA-WiFi 共存网络的吞吐量随着 wifi 节点的增加而缓慢的增加, WiFi 网络的吞吐量随着 wifi 节点的增加而较为快速的增加。LAA 网络的吞吐量是随着 wifi 节点的增加而逐渐减少。3GPP 公平约束下优化参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量如图 9 所示。

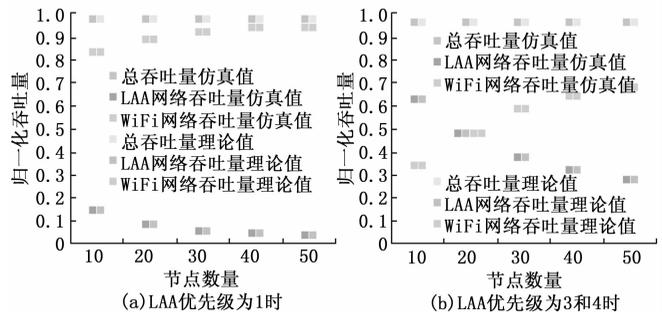


图 9 3GPP 公平约束下优化参数在不同接入优先级下的不同网络吞吐量

由图 9 (a) 可知, 在 LAA 接入优先级为 1 时, LAA-WiFi 共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络吞吐量的理论值和仿真值基本上是一致的。LAA-WiFi 共存网络吞吐量的值基本上没有变化, 整体上都趋近于 1。WiFi 网络吞吐量最大值为 0.96, 最小值为 0.83, 且其随着 WiFi 节点的增加而逐渐增加。LAA 网络吞吐量最大值为 0.16, 最小值为 0.4, 且其随着 WiFi 节点的增加而逐渐下降。通过图 9 (b) 可以看

出, 在 LAA 接入优先级为 3 和 4 时, LAA-WiFi 共存网络、LAA 网络和 WiFi 网络吞吐量的理论值和仿真值基本上一致。LAA-WiFi 共存网络吞吐量的值基本上也没有变化, 整体上都趋近于 1。WiFi 网络吞吐量最大值为 0.7, 最小值为 0.35, 且其随着 WiFi 节点的增加而逐渐增加。LAA 网络吞吐量最大值为 0.65, 最小值为 0.3, 且其随着 WiFi 节点的增加而逐渐下降。由此可见, 在 3GPP 公平优化下最大吞吐量和 WiFi 节点数量有关。

3.2 拥塞控制控制实验结果与分析

为了解决网络吞吐量的问题, 研究通过虚拟队列的方法来对网络拥塞进行控制。为了证明方法的有效性, 研究对虚拟队列方法下的丢包率和吞吐量等信息进行了分析。虚拟队列方法下的丢包率、吞吐量和端到端时延的统计如图 10 所示。

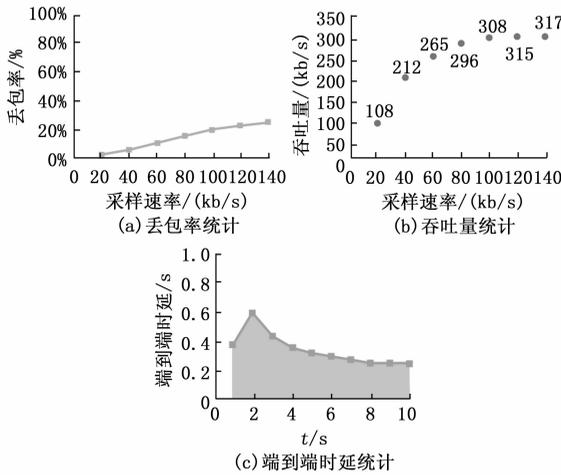


图 10 丢包率、吞吐量和端到端时延的统计

由 10 (a) 可知, 随着源节点采样速率的提升, 虚拟队列方法的丢包率也在不断地上升。当采样速率在 20 kb/s 到 40 kb/s 之间时, 丢包率的增长速率是较为缓慢的。当采样速率大于 40 kb/s 后, 丢包率的增长速率有了较大的提升。由图 10 (b) 可知, 虚拟队列方法的吞吐量最大值约为 317, 最小值约为 108。虚拟队列方法的吞吐量随着采样速率的增加而增加。通过图 10 (c) 可以看出, 虚拟队列方法端到端时延的最大值为 0.61 s, 最小值为 0.21 s。当采样时间在 1 s 到 2 s 之间时, 端到端时延是呈上升的趋势。当采样时间大于 2 s 时, 端到端时延随着时间的增长而减少。为了进一步说明虚拟队列方法的有效性, 研究选取了混合最优信道分配 (HOCA, hybrid optimal channel allocation) 算法来进行对比。虚拟队列方法和 HOCA 算法的损失值和综合评价 F_1 对比如图 11 所示。

由图 11 (a) 可知, 虚拟队列训练集损失值最大值为 2.0, 最小值为 0.53。虚拟队列验证集损失值最大值为 1.9, 最小值为 0.55。HOCA 训练集损失值最大值为 3.17, 最小值为 2.08。HOCA 验证集损失值最大值为 3.17, 最小值为 2.0。通过图 11 (b) 可知, 虚拟队列 F_1 值最大值为 0.938,

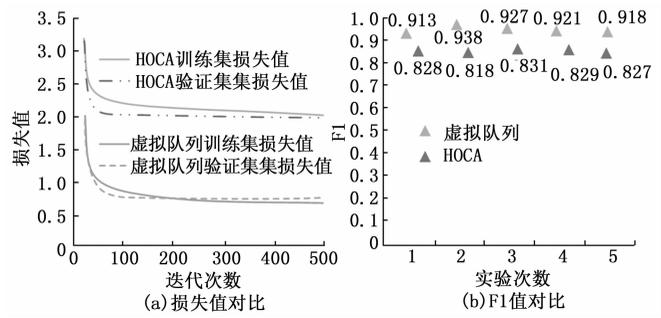


图 11 虚拟队列方法和 HOCA 算法的损失值和 F_1 值对比

最小值为 0.913, 平均值为 0.923 4。HOCA 的 F_1 值最大值为 0.831, 最小值为 0.818, 平均值为 0.826 6。由此可见, 序列列方法在拥塞控制方面有良好的效果。

4 结束语

为了对智慧医疗设备的无线异构共存网络进行优化和对网络拥塞进行控制, 研究提出了基于授权辅助接入和无线保真共存的网络优化理论模型, 并以此为依据建立了不同公平约束下最大吞吐量的问题优化, 且引入了以虚拟队列为依据的拥塞控制方法。实验结果显示, 网络吞吐量和节点数量、成功传输时长都有关。在不同节点数量下, LAA-WiFi 模型共存网络总吞吐量的仿真值最小值为 0.95。在不同成功传输时长上, LAA-WiFi 模型共存网络总吞吐量的仿真值最小值为 0.95。在时间公平约束优化方案下, LAA-WiFi 模型共存网络的总吞吐量一直都是 0.5。在 3GPP 公平约束优化方案下, LAA-WiFi 共存网络吞吐量的值整体上都趋近于 1, 且该值比 3GPP 公平定义中原网络的最大值还大。由此可见, 在 3GPP 公平优化下最大吞吐量和 WiFi 节点数量有关。虚拟队列方法的吞吐量最大值约为 317, 最小值约为 108。虚拟队列方法端到端时延的最大值为 0.61 s, 最小值为 0.21 s。虚拟队列训练集损失值最大值为 2.0, 最小值为 0.53, 且验证集损失值最大值为 1.9, 最小值为 0.55。虚拟队列综合评价平均值为 0.923 4。综上所述, 在把参数调整到最优时 LAA-WiFi 模型会让 LAA 网络和 WiFi 网络实现公平共存, 且虚拟队列方法可以有效地对网络拥塞进行控制。

参考文献:

[1] 曹茂诚, 胡 莉. 基于循证医学知识库的智能预问诊系统的研究与实践 [J]. 微型电脑应用, 2021, 37 (10): 179-181.
 [2] 徐 磊. 基于联盟区块链的医疗健康数据安全模型设计 [J]. 微型电脑应用, 2021, 37 (9): 143-145.
 [3] 刘安战. 移动延迟容忍传感网络拥塞控制算法研究 [J]. 计算机仿真, 2020, 37 (2): 307-311.
 [4] 陈 辉, 张春雨. 一种基于卡尔曼滤波的分簇 WSNs 拥塞检测与控制方案 [J]. 传感技术学报, 2020, 33 (4): 579-585.
 [5] 谢育国. 铁路数字移动通信网络拥塞负载均衡控制方法 [J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2020, 51 (3): 517-520.

(下转第 143 页)