

利用节点选择的分布式无线自组网 区域调度算法设计

刘 帅

(商丘职业技术学院, 河南 商丘 476100)

摘要: 在无线自组网中, 调度算法允许节点共享无线信道以便成功解码并传输数据; 但由于冲突问题, 调度算法需要高效最大化空间复用且最小化重发, 为了能够使算法以一种分布式的方式实现, 还应考虑网络中节点的协调检测选择; 为此, 提出一种基于节点选择的分布式无线自组网区域调度算法, 使用随机几何推导了一种最优保护区域, 该区域能以一种分布式方法实现, 并根据节点接受的“Hello”消息包选择合适邻居节点。在该算法中, 随着不同网络参数如路径损失、中断、扩频增益和节点密度的变化, 最优保护区域大小和性能也在变化。仿真结果表明, 该算法的性能接近于高复杂度和最优的集中算法性能, 并且允许新链路的建立而不影响正在进行的数据传输。

关键词: 无线自组网; 分布式; 节点选择; 区域调度; 时间帧

Design of Distributed Ad Hoc Network Regional Scheduling Algorithm Using Node Selection

Liu Shuai

(Shangqiu Vocational and Technical College, Shangqiu 476100, China)

Abstract: Scheduling algorithms in ad hoc networks allow nodes to share the wireless channel so that concurrent transmissions can be decoded successfully. Scheduling needs to be efficient to maximize spatial reuse and minimize retransmissions due to collisions. In order to make the scheduling algorithm be easily implementable in a distributed manner, the coordination detection options of nodes in the network should also be considered. Therefore, this paper proposes a distributed ad hoc network regional scheduling algorithm based on node selection. Using stochastic geometry, we derive a near-optimal guard zone which can be easily realized in a distributed manner and according to the “Hello” message packet we can choose the right neighbor node. In this algorithm, the size and performance of optimal protection area are changing varies with different network parameters like path loss, outage, spreading gain, and node density. The simulation results show that the performance of this algorithm is close to the high complexity and optimal performance of centralized algorithm and it allows the establishment of new links without affecting the ongoing data transmission.

Keywords: ad hoc networks; distributed; node selection; regional scheduling; time frame

0 引言

无线自组网 (Ad Hoc Network) 的固有灵活性和大容量使其广泛应用于各种新兴领域^[1]。目前研究无线自组网的容量已经成为科学研究的一个热点, 这有利于寻找可实现通信速率的基本限制条件^[2]。

扩展频谱的多路访问和抗多径特性可用于实现自组网物理层的理想码分多址 (CDMA)。自组网本质上存在干扰有限性, 因此使用直接序列码分多址 (DS-CSS) 缓解干扰和提高空间复用率引起了人们极大关注^[3-4]。文献 [5] 表明使用 DS-SS 的无线自组网的容量与扩频增益成子线性关系。因此, 与窄带系统相比, 仅考虑容量对 DS-SS 中带宽的影响意义不大。

本文研究了一种最优保护区域, 该区域定义为接收端周围

的传输受到抑制且允许高效共享无线信道的区域。与没有使用调度的网络相比, 本文方法明显增加了网络容量。

1 相关研究

在自组网中, 共享无线信道的需求产生了调度问题。实现网络共享会对网络主要性能评估标准如端到端延迟、运行中断、吞吐量、功率等级等产生重要影响。

文献 [6] 使用随机几何模型研究自组网中最优调度算法。根据每个节点周围的随机禁区, 提出了一种分布式介质访问协议, 该协议以增加传输失败的信息数量 (>50%) 为代价最大化空间复用, 因此能源利用率较低。文献 [7] 以分布式方式实现了一种用于空间包装的多级竞争协议, 该方法的性能接近最优, 但是该模型假设了没有功率控制的固定传输距离。

IEEE 802.11^[8]无线网络中的 MAC 协议通过载波监听多路访问 (CSMA) 机制实现信道复用。载波监听的基本思想是发射机通过监听物理媒介检测传输信号, 如果附近节点没有传输信号, 则发送机开始传输信号, 否则, 一段时间后, 它再次推迟传输信号且竞争信道。因此, 调度传输使用 CSMA 机制保证当前传输之间的空间分离。文献 [9] 提出的传统拓扑结构在给定需要最小信噪与干扰加噪声比 (SINR) 时, 推导了

收稿日期: 2018-01-04; 修回日期: 2018-01-31。

基金项目: 河南省科技厅软科学研究计划项目 (142400411213); 河南省高等学校重点科研项目 (15A520118)。

作者简介: 刘帅 (1984-), 男, 河南商丘人, 讲师, 硕士, 主要从事计算机网络、云计算等方向的研究。

最优载波监听阈值最大化空间复用。

与载波监听机制相比，本文提出的基于保护区域的调度允许两个相近发送端同时传播数据，只要它们没有违反保护区域标准。CSMA 的一个主要问题是它能抑制活动发送端周围的潜在传输，但现实中我们仅需要抑制活动接收端周围的传输。载波监听中还存在两个额外问题：首先，不知道潜在干扰多久消失，因为没有解码节点控制数据包，这些节点位于接收端传输范围外和干扰范围内。第二，载波监听抑制接近发送端且在接收端周围不存在潜在干扰的节点。

本文研究了当前传输之间的空间分离对网络容量的影响。本文提出一种节点选择的分布式无线自组网区域调度算法，根据节点接受的“Hello”消息包选择合适邻居节点。同时，本文推导了一种最大化空间复用的接近最优的保护区域，该保护区域实现了适合 DS-CDMA 物理层。与没有使用调度方法的网络相比，本文保护区域明显增加了网络容量，在高密度网络中，尤其是在严格中断约束条件下，该算法优势更加明显。另外，该算法的性能接近于高复杂度和最优的集中算法性能，并且允许新链路的建立而不影响正在进行的数据传输。

2 基于保护区域的调度算法

自组网的容量本身具有干扰限制，因此使用探索机制降低干扰很有必要。文献 [10] 通过仅取消最接近干扰增加网络容量，证明了靠近接收端的传输干扰几乎构成了接收端总干扰。因此，一种抑制附近传输的合适大小保护区域也可能提高空间复用。针对预定义传输，寻找整个系统的最优功率分配，由于寻找整个系统的最优功率分配很难以分布式方法实现，因此本文结合配对功率控制实现最优功率分配。在配对功率控制下，每个传输端根据其目的接收端的距离调整它的传输功率，然后交换控制数据包（常常以一些固定功率传输），传输节点利用传输功率确保目的接收端以固定功率 ρ 接收信号，而不需要考虑目的接收端任何数量总干扰。忽略短期和长期衰减且仅考虑路径损耗，使用的传输功率为 $P_i = \rho d^\alpha$ ，其中 d 为传输端与它的目的端之间的距离。

2.1 网络模型和假设

系统模型考虑一种包含 N 对传输端—接收端 (Tx-Rx) 的无线自组网，这些 Tx-Rx 在半径为 R 的二维圆形区域内竞争信道。竞争传输端的位置是基于一种通过 $\prod(\lambda_c) = \{Z_i, d_i\}$ 标记的均匀泊松点过程 (PPP) 分布 [11] 确定的，其中点 $\{Z_i\}$ 模拟时刻 t 强度为 λ_c 的竞争信道节点的位置。符号 $\{d_i\}$ 表示第 i 对 Tx-Rx 之间的距离。本文假设传输端的最大传输范围为 d_{max} ，其中 $d_{max} \leq R$ ，且最大功率约束 ρ_{max} ，而 d_{max} 可以表示为 $(\frac{\rho_{max}}{\rho})^{\frac{1}{\alpha}}$ 。功率控制策略为将来通过选择鲁棒性 SINR 需求传输数据提供缓冲。

为了捕捉多路访问问题，本文忽略路由且考虑下一跳邻居传输，其中每个竞争传输端假设以分布函数 $F_d(x) = (\frac{x}{d_{max}})^2$ 等概率且独立选择它的竞争接收端。因此，对传输端 i ，在圆形区域 $b(Z_i, d_{max})$ ，使用点 W_i 模拟竞争接收端的位置服从均匀分布。假设在分析传统匹配滤波器接收端时，通过 DS-CDMA 中的扩频技术缓解干扰问题。物理层使用 DS-CDMA 时要求严格同步，但实现严格同步比较困难。然而，全局网络不需要同步，仅仅在发生传输的局部区域需要同步。另外，物理

层使用直接序列扩频 (DSSS) 降低了干扰范围，因为需要较低的 SINR [12]。

本文提出的调度方法仅根据来自 N 对竞争 Tx-Rx 的初始传输场景的保护区域标准选择一组可能的传输 Tx-Rx。随机排序这 N 对 Tx-Rx 为 $1, 2, \dots, N$ ，算法（从第一对 Tx-Rx 开始）连续测试剩下竞争对。在不存在任何干扰情况下，算法总是承认第一对 Tx-Rx；然而，如果第一对和第二对传输端分别位于第一对和第二对接收端的保护区域外，则承认第二对。相似地，在处理第 i 对 ($i = 0, 1, \dots, N-1$) 时，假设已经承认了 k ($k = 0, 1, \dots, i$) 对，则算法测试第 $(i+1)$ 对，如果满足以下两个条件，则承认该对数据：

- (1) 第 k 对数据已经承认传输端位于第 $(i+1)$ 个接收端的保护区域范围外。
- (2) 位于第 k 个数据集保护区域范围外的第 $(i+1)$ 个传输端已经被接收端承认。

对于第 i 对 Tx-Rx，如果竞争对不能被承认，则算法丢弃它且测试下一个竞争对。 N 次迭代，即 X_N 后调度算法停止，且承认假设同时传输的竞争对。

由于算法调度传输顺序，随机从 1 到 N 排序 Tx-Rx 对明显是次优的。而搜索空间的大小与竞争节点的数量成指数关系，所以我们从随机子集选择传输序列实现算法。

本文假设 $(X_N - 1)$ 个调度的传输端位于承认接收端保护区域外面且仍然服从泊松分布。在文献 [13] 中这是一种合理假设。在处理第 i 个竞争对时，承认第 $(i+1)$ 个 Tx-Rx 的概率，其中 k 个竞争对已经被承认，且 $b(Z_{i+1}, D)$ 中存在 0 个接收端（超过 k 个已经承认的接收端）的概率与 $b(W_{i+1}, D)$ 中存在 0 个传输端的概率乘积对应。因此，对已经承认的 k 个 Tx-Rx 竞争对使用泊松假设与强度为 $\frac{k}{\pi R^2}$ 过程对应，在 $b(\frac{Z_{i+1}}{W_{i+1}}, D)$ 中，第 $(i+1)$ 个 Rx/Tx 周围零 Tx/Rx 的概率为 e^{-kD^2/R^2} 。

上面解释的调度算法能使用图 1 中的离散马尔科夫链模拟，其中每个状态与承认对数量对应。该算法从状态 0 开始，其中每个状态表示基于保护区域的调度算法承认的 Tx-Rx 竞争对总数量。给定第 i 对，承认第 $(i+1)$ 对 Tx-Rx 的概率是 p_i 。 N 次决策后，根据每个竞争对求出末尾状态 X_N 。这是一种通过 $(N+1) \times (N+1)$ 的转移矩阵 P 描述的非均匀单边随机游动，其中 $[p_{i,j}]$ 为从状态 i 到 $i+1$ 的一次转移概率，转移矩阵 P 描述如下：

$$P = \begin{pmatrix} 1-p^0 & p^0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1-p^1 & p^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p^{N-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中， $p = e^{-2D^2/R^2}$ 。因为调度算法总是从状态 0 开始，所以通过 P_i^N 表示 $X_N = i$ 的 N 步转移概率：

$$P_i^N = \sum_{a_1+a_2+\dots+a_i=N-i} (1-p^1)^{a_1} (1-p^2)^{a_2} \dots (1-p^i)^{a_i} p^1 p^2 \dots p^{i-1} \quad (2)$$

这是 N 决策后，链接位于状态 i 的概率，即第 i 对 Tx-Rx 通过保护区域标准的总数量。上面表达式中 a_1, a_2, \dots, a_i

表示决策数量，其中丢弃总共 $(N - i)$ 个竞争对，因为仅第 i 对被承认。

本文第一个目的是确定成对功率控制下最优大小保护区域 D ，最大化承认传输 X_N 数量使得中断概率小于 ϵ ，其中 $0 < \epsilon \leq 1$ 。这里，中断表示接收端 SINR 低于阈值 Γ 。限制 ϵ 为一较小值保证不浪费容量。接下来，本文推导最大化上面描述系统模型的空间复用的最优大小保护区域 D 。

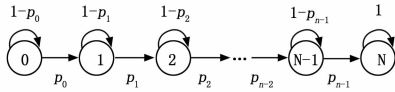


图 1 使用单边异质随机漫游模拟的调度算法

2.2 节点检测选择策略

自组织中每个节点能够承受的负载各不相同，为了降低节点消息包相互碰撞的概率，使节点负载达到均衡状态，本小节以时分复用为出发点，提出了节点的协调检测选择方法。

2.2.1 节点选择

网络中的节点等待一个随机时隙 t 后，开始访问信道，节点之间交换“Hello”消息包，并根据各自获得的相邻节点的消息包建立自组织网络。为了能使该节点选择策略适用性更强，做出以下假设：

- 1) 自组网中所有节点随机分布，且发射功率相同。
- 2) 自组网中所有节点要求时间同步。在实际应用场景下，某个相同的时隙两个节点 A、B 所对应的时隙 τ_A, τ_B 有时候会不一样，即 $\tau_A = \Delta t + \tau_B$ 。此时，我们定义 τ_{delay} 来确保节点间的时间同步，那么原时隙和节点传输时延的和就等于定义的时隙，即 $\tau' = \tau_{delay} + \tau$ 。

根据以上假设，给出节点选择策略的具体步骤：

- 1) 节点等待一个随机时隙 t 后开始发送“Hello”消息包。
- 2) 节点接收解析网络中的消息包后，根据其中的信息更新相邻节点列表。在一跳邻居列表中储存消息包的 ID 号，在两跳邻居列表中储存邻居节点的 ID 号。比如，节点 A 发送“Hello”消息包，节点 C 接收并解析该包信息得到节点 A 的 ID 为 a ，节点 A 的相邻节点的 ID 号为 b ，此时 a 的值将会被记录到 C 的一跳邻居列表中， b 的值将会被记录到 C 的两跳邻居列表中。

3) 各个节点随时更新其邻居列表信息，并判断各自邻居节点的 ID 值是否能够满足算法条件，如果不满足，返回步骤 (1) 重复发送“Hello”消息包，否则算法结束。

由以上分析，在节点的协调选择方法中，节点在等待一个时隙 t 后向网络中发送“Hello”消息包，此过程中并未使用消息重传机制，这样做能够大幅度降低节点间的传播时延。此外，当节点接收到消息包后，不需要对该消息包进行确认和应答操作，降低了节点消息包相互碰撞的概率，减小了开销。

2.2.2 时间帧长度确定

在节点检测选择策略中，对于一个节点来说，若某个时隙下只有其相邻节点 A 发送“Hello”消息包，C 接收消息包，其他的 $(N_{ave} - 1)$ 个相邻节点处于等待状态，设 T 是一个时间帧包含的时隙个数， $s = 1/T$ 表示节点发送消息包的概率。令 s 满足条件 $s + q = 1$ ，则式 (3) 即为相邻节点的检测概率：

$$q^{N_{ave}} = (1 - \frac{1}{T})^{N_{ave}} \quad (3)$$

式 (3) 中， N_{ave} 表示一跳相邻节点个数， $N_{ave} = \xi \pi r^2$ 。 $\xi = \frac{Num}{\pi r^2}$ 表示节点密度， Num 为节点总数， r 为通信半径。 n 个时间帧后，一跳相邻节点的检测概率可表示为：

$$s_n = 1 - (1 - q^{N_{ave}})^n \quad (4)$$

由式 (4) 可得时间帧 n 的值：

$$n = \ln(1 - s_n) / \ln(1 - q^{N_{ave}}) \quad (5)$$

则节点的一跳范围内所有相邻节点的持续时间总和为：

$$f(L) = n \times L \quad (6)$$

其中： $L = \tau' \times T$ 表示时间帧长度。

由以上分析可得式 (7) 约束函数：

$$\begin{aligned} \min f(L) &= L \ln(1 - s_n) / \ln(1 - q^{N_{ave}}) \\ s_n &= 1 - (1 - q^{N_{ave}})^n \\ q &= 1 - s = 1 - \frac{1}{T} \\ L &= \tau' \times T \end{aligned} \quad (7)$$

由式 (7) 可求得时间帧长度 L 的值和 $f(L)$ 的最小值。

则式 (8) 表示时间帧长度 L 和一跳邻居间的数学关系：

$$L = K \times N_{ave} \quad (1 < K < 2) \quad (8)$$

2.3 配对功率控制下的最优保护区域

在调度过程中，较小保护区域 D 导致同步传输之间的空间分离性能降低，进而导致调度接收端存在过多干扰且容易发生中断约束。一方面，较大 D 消除了许多干扰，因为许多潜在传输端将位于活动接收端保护区域内。因此，选择的最优且最大化区域频谱效率的保护区域大小与满足中断需求的最小保护区域对应，下文研究 D 对两种约束的影响。

对于区域 D 对应的最优保护区域 D^* 中的两个强度 λ_1 和 λ_2 的最小值，寻找一个 λ^* 使其最大化，同时使空间复用最大化。 λ^* 的表达式为：

$$\lambda^* = \max_D [\min(\lambda_1, \lambda_2)] \quad (22)$$

其中： λ_1 和 λ_2 分别模拟中断约束和空间约束。因为 D 中 λ_1 是一个递增函数， λ_2 是一个递减函数，使得 $\lambda_1 = \lambda_2$ (该交叉点保证当 $D=0$ 时， $\lambda_1 \rightarrow 0$) 时产生最优 D ，简化后，表达式如下：

$$D^* = \frac{2}{\pi} d_{max} \left(\frac{Q^{-1}(\epsilon)}{M\delta} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \sqrt{\ln \left[1 + \frac{Nd_{max}^2}{R^2} \left(\frac{Q^{-1}(\epsilon)}{M\delta} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right]} \quad (23)$$

与最优保护区域对应的调度传输强度通过代替式 (16) 或 (23) 中的 D^* 计算：

$$\lambda^* = \frac{\pi}{8d_{max}^2} \left(\frac{M\delta}{Q^{-1}(\epsilon)} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \left[\ln \left(1 + \frac{Nd_{max}^2}{R^2} \left(\frac{Q^{-1}(\epsilon)}{M\delta} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right) \right]^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \quad (24)$$

3 仿真比较

本文首先根据空间复用评估算法的性能，根据比较基于保护区域的调度方法与没有使用调度算法的网络作比较获取实验结果。紧接着比较基于保护区域的调度算法 (仅考虑空间复用) 与已知著名最优调度算法和功率控制算法性能。

3.1 基于保护区域的调度算法 vs 未使用调度算法网络

文献 [13] 推断，在没有使用任何调度算法的网络中，并行传输的最大允许密度满足中断约束。它们的模型利用均匀泊松过程描述传播节点的位置且使用配对功率控制。推导竞争传输 λ_c 的强度上界 λ_u ，其中 $\lambda_c > \lambda_u$ 导致一种不可接受中断概

率, 即 $P_o > \epsilon$ 。文献 [13] 的上界表示如下:

$$\lambda_w = \frac{4}{\pi} \left(\frac{\pi d}{d_{\max}} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \epsilon \quad (25)$$

保护区调度增加了空间复用, 用 ω 表示, 使用式 (25) 中的上界和式 (24) 中的 λ^* 表示:

$$\omega = \frac{\pi^2}{32\epsilon} (Q^{-1}(\epsilon))^{\frac{2}{\alpha}} \left[\ln \left(1 + \frac{Nd_{\max}^2}{R^2} \left(\frac{Q^{-1}(\epsilon)}{M\delta} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \right) \right]^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \quad (26)$$

表 1 给出了仿真的网络参数, 图 2 显示了调度传输的强度增益 ω 与 Tx-Rx 竞争对总数量之间的关系。由图 2 可知, 与没有使用调度算法的网络相比, 最优保护区算法使网络容量增加了 2~40 倍。增加的容量主要依赖于需求的中断概率 ϵ 和竞争节点的强度。曲线表明较严格中断需求需要越来越多的调度且增益变化比较剧烈。此外, ω 的增加依赖竞争节点的强度。当 N 较小时, 许多竞争节点能同时传输数据, 因为它们之间存在固有空间分离。

表 1 网络参数

符号	描述	值
Γ	目标 SINR	10dB
η	SNR	20dB
ϵ	中断概率需求	0.01
d_{\max}	最大传输半径	10m
R	网络半径	100m

基于保护区的调度算法利用连续数据包传输提高空间利用率。因此, 当 N 较大时, 消耗空间大且空间复用得到很大提高。但是这并不是最优数据包, 首先, 保护区调度方法对网络中所有节点使用固定大小保护区。其次, 它连续逐渐调用传输, 而不是全局调用。因此, 接下来本文比较本文方法与最优调度方法之间的性能。

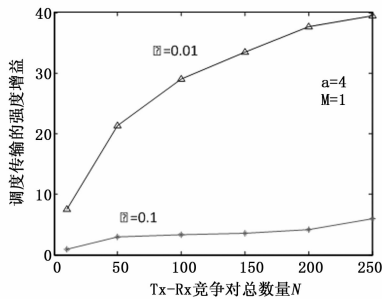


图 2 调度传输的强度增益和 Tx-Rx 竞争对总数量 N 关系

3.2 基于保护区的调度方法 vs 最优调度算法

为了评估保护区调度算法和最优调度与功率控制算法的性能, 本文仿真了表 1 所示参数的自组网。根据均匀泊松点过程, 竞争传输端 (一些初始化强度 λ_c) 是分布式的。每个传输端 Z_i 的周围有一个对应接收端随机位于区域 $b(Z_i, d_{\max})$ 。这里使用的传播模型是基于简单路径损失模型, 该模型忽略短期和长期衰减。合并衰减和阴影将导致建模拥有非圆线的保护区。本文首先在配对功率控制下完成基于保护区的调度算法。因为缺少竞争传输端的初始集合, 因此本文随机选择一组 Tx-Rx, 然后打包传输。

为了最大化自组网中空间复用, 文献 [14] 提出了一种基于中心调度的全局搜索方法, 该方法确定竞争传输的最大可能

子集, 这些子集能同时满足 SINR 需求。然而, 因为搜索空间以 N 的指数增加, 所以最优调度是一种 NP 完全问题。因此, 文献 [14] 提出一种联合调度和功率控制的算法完成最优空间复用。本文称之为集中算法, 且比较该方法性能和本文提出基于保护区的调度方法性能。

图 3 和图 4 显示了使用基于保护区的调度方法的空间进步比率 (集中算法使用空间进步归一化)。结果显示基于保护区的调度算法是次优的且它的性能随着负载增加而降低, 如图 4 所示。然而, 基于保护区的调度方法完成大约 75~85%, 这与拥有合适频谱增益的集中算法相同。在高扩频增益或当网络负载较轻时, 算法性能非常好。因为轻负载下, 可以减少调度, 因为节点已经空间分离。因此基于保护区的调度算法没有损失更多性能。对固定 N , 增加的 M 松弛空间分离需求则再次提高了基于保护区调度算法性能。

当 $M < 8$ 时, 在较高路径损失指数下, 基于保护区的调度算法性能比较好, 然而当 $M > 8$ 时, 较低的路径损失指数提高了算法性能, 如图 3 所示。当 $M < 8$ 时, 网络干扰受限且较高 α 有助于提高算法性能, 因为高衰减导致的总干扰受限。临近节点不会产生干扰, 因为保护区控制了它们, 然而远离节点具有较小总干扰, 因为 α 较高。因此, 较远的节点性能较差。然而, 当 α 是距离较远的节点, 它仍能贡献总干扰且该知识可以用在集中算法里。当网络不存在干扰限制时, 当 $M > Q^{-1}(\epsilon)/\delta$ 时一样会如此, 对 $M > 8$, 较高路径损失降低了保护区性能, 如图 3 所示。在这种情况下, 配对功率控制对算法的性能有负面影响。图 4 中, 在较小 d_m 情况下, 算法性能较好且节点需要更少传输功率, 因此, 产生更少干扰。

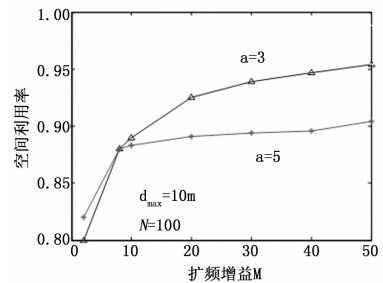


图 3 扩频增益和空间利用率的关系

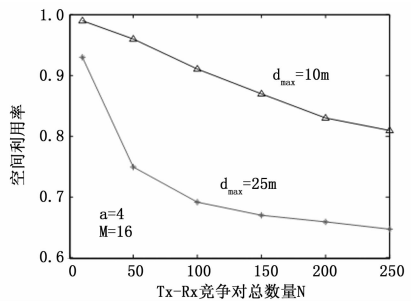


图 4 Tx-Rx 竞争对总数量和空间利用率的关系

4 总结

为了最大化空间复用且最小化重发, 本文提出一种基于节点选择的分布式无线自组网区域调度算法, 使用随机几何推导了一种最优保护区, 该区域能以一种分布式方法实现, 并根据节点接受的“Hello”消息包选择合适邻居节点。同时针对无线自组网提出了一种简单的分布式调度机制和功率控制机

制, 这些机制适应于 DS-CDMA 物理层。调度算法基于保护区域标准, 且抑制位于任何活动接收端保护区域内节点的数据传输。尽管根据空间复用, 基于保护区域的调度算法是次优的, 但是该方法简单且容易使用分布式方法实现。本文推导了在中断约束情况下最大化成功传输密度的最优保护区域表达式。提出的方法实现了配对功率控制, 其中节点的传输功率仅基于节点距离目的接收端的距离。基于保护区域的调度算法性能接近于高复杂度和最优的集中算法性能, 且允许承认新链路而不影响正在进行的数据传输。

参考文献:

- [1] 邢毓华, 宋俊慷, 郭庆吉. 光伏应用系统远程监测平台设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (1): 57-60.
- [2] Weber S, Andrews J G, Jindal N. An overview of the transmission capacity of wireless networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58 (12): 3593-3604.
- [3] Ganti R K, Haenggi M. Interference and Outage in Clustered Wireless Ad Hoc Networks [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2009, 55 (9): 4067-4086.
- [4] Pourgolzari V, Ghorashi S A. A CDMA based MAC protocol for ad hoc networks with directional antennas [A]. International Symposium on Computer Networks and Distributed Systems [C]. IEEE, 2011: 73-77.
- [5] Weber S P, Yang X, Andrews J G, et al. Transmission capacity of wireless ad hoc networks with outage constraints [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2005, 51 (12): 4091-4102.
- [6] Baccelli F, Błaszczyszyn B, Mühlethaler P. An Aloha protocol for

(上接第 266 页)

间的主从式架构, 提出了与主从式架构相适应的业务感知实现方案。仿真结果表明本文所提出的业务感知技术在保证 EPON 带宽和实时性的同时, 可以有效提升 EPON 对智能配用电多业务本地接入的主动承载和支持能力, 最终实现电力 EPON 与智能电网多业务通信需求之间的高效匹配。

参考文献:

- [1] Kramer G. 10G-EPON: Drivers, challenges, and solutions [A]. In: Proceedings of European Conference on Optical Communication [C]. Vienna, Austria, 2009, 1-3.
- [2] Tanaka K, Agata A, Horiuchi Y, et al. IEEE 802.3av 10G-EPON Standardization and Its Research and Development Status [J]. Journal of Lightwave Technology, 2010, 28 (4): 651-661.
- [3] 刘 静. 基于 EPON 的三网融合通信服务系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (11): 2868-2870.
- [4] Hajduczenia M, Silva H J A D, Monteiro P P. 10G EPON Development Process [A]. In: Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks [C]. Rome, Italy, 2007, 276-282.
- [5] Elbers J P. Optical access solutions beyond 10G-EPON/电力 PON [A]. In: Proceedings of 2010 Conference on National Fiber Optic Engineers Conference [C]. San Diego, United States of America 2010, 1-3.
- [6] Roy R, Kramer G, Hajduczenia M. Performance of 10G-EPON [J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49 (11): 78-85.
- [7] Crotti M, Gringoli F, Pelosato P, et al. A statistical approach to IP-level classification of network traffic [A]. In: Proceedings of

multihop mobile wireless networks [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52 (2): 421-436.

- [7] Yang X, Veciana G D. Inducing multiscale clustering using multi-stage MAC contention in CDMA ad hoc networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007, 15 (6): 1387-1400.
- [8] 解瑞云, 马同伟, 海本斋. 利用发送和接收时隙分配策略改善无线传感器网络 MAC 协议能效 [J]. 计算机应用研究, 2016, 33 (2): 562-566.
- [9] Zhu J, Guo X, Yang L L, et al. Leveraging spatial reuse in 802.11 mesh networks with enhanced physical carrier sensing [A]. IEEE International Conference on Communications [C]. IEEE, 2004 (7): 4004-4011.
- [10] Weber S P, Andrews J G, Yang X, et al. Transmission Capacity of Wireless Ad Hoc Networks With Successive Interference Cancellation [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53 (8): 2799-2814.
- [11] 孙晓惠, 尹长川. 基于双变量泊松点过程的无线 Ad Hoc 网络的保密广播传输容量分析 [J]. 电子学报, 2014, 42 (9): 1847-1851.
- [12] 李林琳, 李景文. 基于 RD 和 CS 算法的 SAR 噪声干扰效果评估与对比 [J]. 电子与信息学报, 2008, 30 (2): 331-334.
- [13] Hasan A, Andrews J G. The Guard Zone in Wireless Ad hoc Networks [J]. Wireless Communications IEEE Transactions on, 2007, 6 (3): 897-906.
- [14] Elbatt T, Ephremides A. Joint scheduling and power control for wireless ad hoc networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 3 (1): 74-85.
- [15] IEEE International Conference on Communications [C]. Istanbul, Turkey, 2006, 170-176.
- [8] Moore A W, Zuev D. Internet traffic classification using bayesian analysis techniques [J]. Acm Sigmetrics Performance Evaluation Review, 2005, 33 (1): 50-60.
- [9] BAI Huifeng, LI Mingwei, WANG Dongshan. Bayesian Classifier Based Service-aware Mechanism in 10G-EPON for Smart Power Grid [J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42 (6): 668-673.
- [10] Jaeger H, Lukosevicius M, Popovici D, et al. Optimization and applications of echo state networks with leaky-integrator neurons [J]. Neural Networks the Official Journal of the International Neural Network Society, 2007, 20 (3): 335-352.
- [11] Jaeger H. Echo state network [J]. Scholarpedia, 2007, 2 (9): 1479-1482.
- [12] Jaeger H, Maass W, Principe J. Special issue on echo state networks and liquid state machines [J]. Neural Networks, 2007, 20 (3): 287-289.
- [13] Rodan A, Tino P. Minimum complexity echo state network [J]. Neural Networks IEEE Transactions on, 2011, 22 (1): 131-144.
- [14] Jaeger H. Reservoir riddles: suggestions for echo state network research [A]. In: Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks [C]. Montreal, Canada: IEEE, 2005, 1460-1462.
- [15] Alexandre L A, Embrechts M J, Linton J. Benchmarking reservoir computing on time independent classification tasks [A]. In: Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks [C]. Atlanta, Georgia, United States of America, 2009: 89-93.