

电台关联和频谱分配联合优化算法

武婧婧, 屈志毅

(兰州大学 信息科学与工程学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 为实现电台“单跳接入”组织模式中的高效频谱分配, 以最大化频谱效用为目标建立优化模型, 提出电台关联和频谱分配联合优化算法. 设计了综合考虑电台负载强度和信道 SNR 的权重参数. 根据该权重参数求解无线接入结点与各电台间的最优关联以及各电台间的最优频谱分配. 前者缓解电台在接入时的“远近效应”, 并确保负载强度大的电台优先就近接入. 后者优化系统吞吐, 并兼顾频谱在各电台间分配的公平性. 仿真结果表明, 与静态和仅考虑电台负载强度的自适应频谱分配算法相比, 该算法可以有效提升系统性能.

关键词: 战术无线网络; 电台关联; 频谱分配

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2017)07—0113—06

Joint Optimization Algorithm for Radio Association and Spectrum Allocation

WU Jing-jing, QU Zhi-yi

(School of Information Science & Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Aim at efficient allocating spectrum in radio “single-hop access” organization mode; we formulate an optimization model to maximize spectrum utility and propose a joint optimization algorithm for radio association and spectrum allocation. A novel weight taking both radios’ load intensities and SNRs into account has been designed. We solve the optimal association among wireless access nodes (WANs) and radios and optimal spectrum allocation among radios according this weight. The former alleviates the near-far problem when radios access WANs, and guarantees radios with heavy load intensity have priority to associate a nearer WAN. Also focuses on the fairness of spectrum allocation, the latter optimizes the overall system throughput. Simulation results demonstrate that, compared with static and adaptive spectrum allocation algorithm only considering the load intensities of radios, the proposed algorithm can improve the system performances effectively.

Key words: tactical wireless network; radio association; spectrum allocation

1 引言

感知空闲频谱并实现动态频谱分配, 已经逐步应用于战术无线网络以缓解其面临的严重频谱稀缺问题^[1]. 一般来说, 根据作战单元编制, 战术电台(下简称“电台”)呈“分级树状”组织模式^[2], 按照指挥层级逐级分配频谱资源.

“单跳接入”组织模式具备电台灵活接入以及频谱动态调整等方面的优势. 但是, WANs 可同时建立的通信链路有限^[3], 簇内电台较多时, 往往需要多

个 WANs 同时提供接入服务. 传统的静态方式固化 WANs 和各电台间的关联及频谱在各电台间的分配, 不考虑 WANs 和各电台间的链路质量以及电台负载强度. 改进的自适应方式要求频谱分配与电台负载强度相匹配, 以缓解各电台间的负载不均衡. 但是, 由于“远近效应”的广泛存在, 该方式对系统性能提升有限. 例如, 某个地域部署 WANs, a_1 和 a_2 (最大连接电台数均为 4 个), 电台 $c_1 \sim c_6$, 关联关系如图 1(a)所示.

优化关联如图 1(b)所示. 受 a_1 最大连接电台数

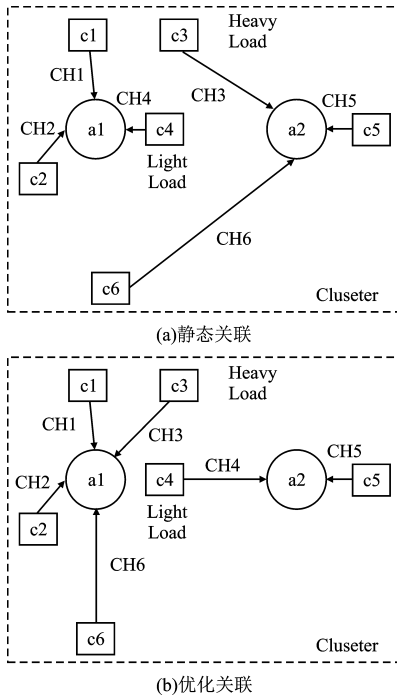


图1 WANs和各电台间静态及优化关联示意图

限制, c_4 需在 a_1 上解关联并与 a_2 建立关联. 随后, 应综合考虑电台信道 SNR, 负载强度以及公平性等指标制定频谱分配策略. 为定量分析并求解该问题, 提出联合优化电台关联和频谱分配算法 (Joint Optimization of Radio Association and Spectrum Allocation, JORS).

JORS 的主要特征是: 设计了包含电台负载强度及其信道 SNR 的权重参数, 将 WANs 和各电台的关联以及频谱在各电台间的分配问题, 分别建模成指派问题和凸整数规划问题. 确保负载强度大的电台就近接入, 并为负载强度大且信道 SNR 高的电台分配更多的频谱. 仿真实验表明, 相对于静态和仅考虑电台负载强度的自适应频谱分配算法, JORS 在系统吞吐率以及节点缓冲区队列长度两个指标上具有显著优势.

2 系统模型

系统参数上, 某簇 (频谱共享域) 由 3 种实体组成: 簇头, WAN 和电台, 分别由 $H, A = \{a_j\}, j = 1, \dots, N$ 以及 $C = \{c_i\}, i = 1, \dots, M$ 标记. 簇内存在一个公共信道 (Common Control Channel, CCC) 用于系统中各实体间管理消息的交互^[4]. $bw(c_i), n(a_j)$ 和 $u(a_j)$ 分别代表 c_i 的频谱带宽, a_j 最大可关联的电台数量, 以及 a_j 所关联的电台集合. $U = \{u(a_j) \mid a_j \in A\}$ 代表一个 WANs 和各电台间可行的关联结

果, U^* 代表该结果的最优值. 各电台维护一个网络层的发送队列 q_{c_i} , 代表该电台负载强度^[5]. 簇内总频谱带宽 BW 被划分成细小频谱带作为频谱分配的最小单位, 其最小粒度 $bw_{\min}$ 受电台物理特性制约^[6].

工作机制上, 为避免单点失效问题, 簇头在 WANs 中动态选取并提供冗余备份. WANs 经由 CCC 收集它们和各电台间信道的 SNRs (二维矩阵) 以及电台负载强度值并发送给 H . H 求解 U^* , 并在此基础上优化分配各电台信道的频谱宽度 (由若干细小的频谱带标记), 将结果同样经由 CCC 告知各电台. 随后, 各电台利用所分配的细小频谱带以 OFDM 方式接入各自 WANs.

形式化建模上述电台关联和频谱分配问题 P1 如下:

$$\text{FIND } \{u(a_j), bw(c_i)\}_{a_j \in A, c_i \in C}$$

$$\text{MAX} \sum_{c_i \in C} \text{NUM}(bw(c_i)) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } I(c_i) = \emptyset, c_i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{a_j \in A} |u(a_j)| = M \quad (3)$$

$$u(a_{j_1}) \cap u(a_{j_2}) = \emptyset, j_1 \neq j_2 \quad (4)$$

$$|u(a_j)|_{a_j \in A} \leq n(a_j) \quad (5)$$

$$\bigcup bw(c_i) \subseteq BW \quad (6)$$

$$\sum_{c_i \in C} \frac{bw'(c_i) - bw(c_i)}{bw(c_i)} \leq 0 \quad (7)$$

$$bw(c_i) = K \cdot bw_{\min}, K \in \mathbb{Z}^+ \quad (8)$$

目标函数 (1) 中的 $\text{NUM}(bw(c_i))$ 代表电台 c_i 在分配 $bw(c_i)$ 频谱带宽时的效用函数. 约束 (2) 中的 $I(c_i)$ 代表电台 c_i 干扰范围内电台的集合. 采用无冲突的频谱分配模型, 所有电台的干扰集合均为空集. 约束 (3) 和 (4) 要求每个电台必须连接且只能连接至一个 WAN. 约束 (5) 限制 WAN a_j 可同时连接的最大电台个数为 $n(a_j)$. 约束 (6) 和 (8) 确保电台频谱分配总和不超过可用频谱, 并且是频谱带宽可调整的最小粒度整数倍. 约束 (7) 参考了文献 [7] 的比例公平性定义, 其中 $\{bw'(c_i)\}_{c_i \in C}$ 代表一个另外的频谱分配解. 如果该约束成立, $\{bw(c_i)\}_{c_i \in C}$ 解可满足比例公平性.

3 JORS 算法

JORS 算法有两部分组成, 电台关联和频谱分配, 均基于电台负载强度与 WANs 和各电台间信道 SNRs. 算法框架如图 2 所示.

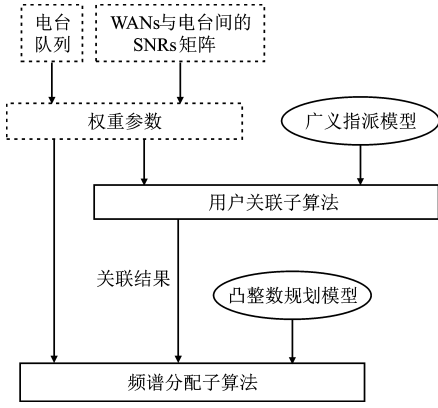


图 2 JORS 算法框架

3.1 权重设计

首先,在研究电台关联问题时,如果单纯实现电台的就近接入,可建立目标函数为

$$\text{MAX } \text{SNR}_{c_i a_j} \cdot x_{c_i a_j}, i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N \quad (9)$$

式中,决策变量 $x_{c_i a_j}$ 代表电台 c_i 与 WAN a_j 的关联解, $\text{SNR}_{c_i a_j}$ 是其信道 SNR 值.该问题的求解结果会导致一方面负载强度大的电台难以优先选择 WAN,另一方面负载强度小的电台就近接入 WAN 后不能充分利用信道资源.

随后,WANs 和各电台关联关系确定后,在研究频谱分配问题时,仅考虑电台负载强度或 WANs 和各电台间信道 SNRs 时,可分别建立目标函数(10)和(11).

$$\text{MAX } \sum_{c_i \in C} q_{c_i} \text{NUM}(bw(c_i)), i = 1, \dots, M \quad (10)$$

$$\text{MAX } \sum_{c_i \in C} \text{SNR}_{c_i a_j} \text{NUM}(bw(c_i)), i = 1, \dots, M \quad (11)$$

目标函数(10)和(11)分别要求负载强度大和信道 SNR 高的电台获得更多的频谱带宽.但是,高负载强度低 SNR 信道或者低负载强度高 SNR 信道的电台在两种情况下均会浪费大量频谱资源.

为此,研究电台关联和频谱分配两个层面的问题时均需综合考虑电台负载强度与 WANs 和各电台间信道 SNRs.令二者各占权重参数的 50% 权重.

$$w_{c_i a_j} = q_{c_i} * 0.5 + \text{SNR}_{c_i a_j} * 0.5 \\ i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N \quad (12)$$

由于二者量纲不同,在计算权重参数时需分别

对其进行归一化.尽管该权重参数不能保证在所有极端情况下系统性能最优,但能在二者间提供一个较好的平衡.

3.2 电台关联

电台关联旨在缓解各电台的“远近效用”,使其就近接入 WAN.实际中,WAN 同时能关联的电台个数受限,某个(些)电台会“被迫”关联至距离自身较远的 WANs.将该问题建模为广义指派问题 P2.

$$\text{FIND } \{x_{c_i a_j}\}_{a_j \in A, c_i \in C}$$

$$\text{MAX}$$

$$\sum_i \sum_j w_{c_i a_j} x_{c_i a_j} \quad i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N \quad (13)$$

$$\text{s. t. } \sum_j x_{c_i a_j} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_i x_{c_i a_j} \leq n(a_j) \quad (15)$$

$$\sum_i \sum_j w_{c_i a_j} = 1 \quad (16)$$

$$x_{c_i a_j} \in \{0, 1\} \quad (17)$$

在 P2 中, $x_{c_i a_j}$ 具有二进制约束(17), $w_{c_i a_j}$ 是其权重值,由式(12)确定,且满足归一化约束(16),约束(14)、(15)等价于 P1 中的(3)~(5).

为求解该问题,可将权重矩阵 $\{w_{c_i a_j}\}_{c_i \in C, a_j \in A}$ 和决策变量矩阵 $\{x_{c_i a_j}\}_{c_i \in C, a_j \in A}$ 转化成向量形式.原问题 P2 转化为线性整数规划问题 P2',采用分支定界法求解.

算法 1: 电台关联子算法

(a) 模型转化部分

将权重矩阵 $\{w_{c_i a_j}\}_{c_i \in C, a_j \in A}$ 和 WANs 和各电台间的关联矩阵 $\{x_{c_i a_j}\}_{c_i \in C, a_j \in A}$ 转化为向量形式:

$$w_{c_i a_j} \rightarrow w_k: w_{c_1 a_1}, w_{c_1 a_2}, \dots, w_{c_1 a_n}, w_{c_2 a_1}, w_{c_2 a_2}, \dots, w_{c_2 a_n}, w_{c_m a_1}, w_{c_m a_2}, \dots, w_{c_m a_n} \\ x_{c_i a_j} \rightarrow x_k: x_{c_1 a_1}, x_{c_1 a_2}, \dots, x_{c_1 a_n}, x_{c_2 a_1}, x_{c_2 a_2}, \dots, x_{c_2 a_n}, x_{c_m a_1}, x_{c_m a_2}, \dots, x_{c_m a_n}$$

原始的 P2 问题转化为 P2' 问题:

$$\text{MAX } \sum_k w_k \cdot x_k \quad k = 1, \dots, M \times N \quad (18)$$

$$\text{s. t. } A \cdot X^T \leq b \quad (19)$$

$$A_{\text{eq}} \cdot X^T = b_{\text{eq}} \quad (20)$$

$$x_k \in \{0, 1\} \quad (21)$$

其中 $\{x_k\}_{M \times N}$ 是过度向量,根据 P2 约束(15), P2' 约束(19)中 $A_{N, N \times M}$ 为

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}_{N, M \times N} \quad (22)$$

该不等式右侧向量 $\mathbf{b}$ 为

$$\mathbf{b} = \{n(a_1), n(a_2), \dots, n(a_N)\}^T \quad (23)$$

$$\mathbf{Aeq} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}_{M, M \times N} \quad (24)$$

该等式右侧向量 $\mathbf{beq}$ 为

$$\mathbf{beq} = \{1, 1, \dots, 1\}^T_M \quad (25)$$

(b) 模型求解部分. 使用分支定界方法求解该线性 0-1 规划, 可参考文献[8], 这里不再赘述.

将 $P2'$ 问题求解结果 $\{\mathbf{x}_k\}_{M \times N}$ 转换为 $\{\mathbf{x}_{c_i a_j}\}_{c_i \in C; a_j \in A}, \{\mathbf{x}_{c_i a_j}\}_{c_i \in C; a_j \in A}$ 是 $P2$ 问题的最优解.

3.3 频谱分配

问题 $P2$ 的求解消除了问题 $P1$ 的约束(3)、(4), 综合考虑电台负载强度与 WANs 和各电台间信道 SNRs 实现电台的最优关联. 此时, 问题 $P1$ 可转化为簇内的纯频谱分配问题 $P3$, 建模 $P3$ 为凸整数规划问题.

$$\text{FIND } \{bw(c_i)\}_{c_i \in C} \\ \text{MAX} \sum_{c_i \in C} w_{c_i} \cdot \log(1 + bw(c_i)) \quad (26)$$

$$\text{s. t. } \sum_{c_i \in C} bw(c_i) \leq BW \quad (27)$$

$$bw(c_i) = K \cdot bw_{\min}, K \in \mathbb{Z}^+ \quad (28)$$

将 $P1$ 中效用函数以 $\log$ 形式构建, 决策变量的解可获得比例公平性^[9], 满足约束(7). 注意 $\{w_{c_i a_j}\}_{c_i \in C; a_j \in A}$ 由电台与 WANs 的关联结果以及电台负载强度确定, 而 $\{x_{c_i a_j}\}_{c_i \in C; a_j \in A}$ 已经由 3.2 节给出, 电台权重可以简化表示为 $\{w_{c_i}\}_{c_i \in C}$. 式(26)代表 $P3$ 的效用函数, 是凸函数. 约束(27)是线性约束, 与 $P1$ 中的约束(6)一致. 决策变量 $bw(c_i)$ 受正整数约束(28). $P3$ 是一个凸整数规划问题. 一般 $\log$ 函数可作为亚线性函数对待, 该问题可以使用与求解 $P2'$ 问题一样的分支定界框架求解. 但是该决策变量拥有比 $\{0, 1\}$ 大得多的整数空间, 在不考虑整数约束时已经有 $O(n^{3.5} \times \tau)^{[10]}$ 的运算复杂度. 为此, 这里对该问题进行一个合理简化来求得近似解. 算法伪代码如下, 将 $\{bw(c_i)\}_{c_i \in C}$ 简化表示为 $y \in \mathbb{R}^M$.

算法 2: 频谱分配子算法

0. 初始化. 将 $P3$ 中每个决策变量的可行域由

根据 $P2$ 约束(14), $P2'$ 约束(20) 的等式约束向量 $\mathbf{Aeq}_{M, M \times N}$ 为

整数松弛为实数. 使用乘子法求解该带约束的凸规划问题. $y_0 \in \mathbb{R}^M, \lambda_1 \in \mathbb{R}, \sigma_1 > 0, 0 < \epsilon \leq 1, \vartheta \in (0, 1), \eta > 1, k := 1$

1. While (true) // 乘子迭代

将不等式约束用 $g(y_k)$ 标识, 与拉格朗日乘子 λ_k 相乘, 带入目标函数(26), 构建增广拉格朗日函数:

$$\Psi(y_k, \lambda_k, \sigma_k) = f(y_k) + \frac{1}{2\sigma_k} ([\min\{0, \sigma_k g(y_k) - \lambda_k\}]^2 - \lambda_k^2) \quad (29)$$

2. 求解无约束优化问题, 将 y_{k-1} 作为初始点.

(0) 取 $\delta \in (0, 1), \sigma \in (0, 0.5)$, 指定初始对称正定矩阵 $\mathbf{B}_0$ 为单位矩阵 $\mathbf{I}_m$

(1) While(true) // BFGS 拟牛顿迭代

(2) If $\|\nabla \Psi(y_k)\| \leq \epsilon$, 跳转至(3).

(3) Else // 基于 Armijo 线性搜索寻找 y_{k+1} .

(4) 从 $B_k \cdot d_k = -g_k$ 中求解 d_k ; // d_k 为搜索方向

(5) $\alpha_k = \delta^{m_k}$; // m_k 是满足 $f(y_k + \delta^m \cdot d_k) \leq f(y_k) + \sigma_k \cdot \delta^m \cdot g_k^T \cdot d_k$ 不等式约束的最小非负整数

(6) $y_{k+1} = y_k + \alpha_k d_k$

(7) End if

(8) 更新 B_k

$$B_{k+1} = \begin{cases} B_k, & z_k^T s_k < 0 \\ B_k - \frac{B_k s_k s_k^T B_k}{s_k^T B_k s_k} + \frac{z_k z_k^T}{z_k^T s_k}, & z_k^T s_k > 0 \end{cases} \quad (30)$$

其中 $s_k = y_{k+1} - y_k, z_k = g_{k+1} - g_k$

(9) $k := k + 1$

(10) End while

3. 构建罚参数

$$\beta_k = \min \{g(x_k), \frac{(\lambda_k)_i}{\sigma_k}\} \quad (31)$$

4. If $\beta_k \leq \epsilon$ then break;

5. Else // 更新罚参数

6. If $(\beta_k \geq \vartheta \cdot \beta_{k-1})$

$\sigma_{k+1} := \eta \cdot \sigma_k$

7. Else

$\sigma_{k+1} := \sigma_k$

8. End If

9. $\lambda_{k+1} = \max \{0, \lambda_k - \sigma_{k+1} g(y_k)\}$

10. End If

11. $k := k + 1$, 跳转到第 1 步

12. End While

13. 将 y_k 解向下取整 $\text{INT}(y_k)$

14. 计算 $\text{BW-INT}(y_k)$ 并向下取整, 将剩余的细小频谱带按照电台权重参数的降序分配给各电台

初始 B_0 矩阵 $\mathbf{I}_m$ 为对称正定矩阵, 在更新拟牛顿矩阵 $\mathbf{B}_k$ 时, 算法如果能在每次迭代时 $y_k^T s_k > 0$, 通过 BFGS 修正, $\mathbf{B}_k$ 为对称正定矩阵^[10]. 但是, Armijo 线性搜索不能确保每一步 $y_k^T s_k > 0$, 在该情况下 $\mathbf{B}_k$ 不更新, 如式(30)所示. 第 13, 14 步将算法的最优实数解调整为整数解. 在效用函数用 $\log$ 调整完公平性后, 拥有较大权重参数的电台不能获得“足够”频谱, 所以将剩余的频谱以 $bw_{\min}$ 为单位按权重参数降序逐个分配给各电台.

4 性能仿真

由于 JORS 算法并非针对特定数据集合的启发式算法, 所以采取横向比较法, 将其与静态和仅考虑电台负载强度的自适应频谱分配算法相比较.

仿真设置 12 个固定时间步, 每个时间步为 100 s. 假定在某地域中部署有 4 个 WANs 以及 12 个电台, 系统总可用频谱为 18 kHz. 仿真参数: 算法 1 的分支定界策略是“Maximum integer infeasibility”, 使用基于 LP 的分支定界算法; 算法 2 中的终止参数 ϵ 为 10^{-4} , 罚因子为 2.0, 乘子法中的实参数 η 和 ϑ 分别为 2.0 和 0.8, λ 和 β 的初始值为 0.1 和 1.0, Armijo 线性搜索参数 δ 为 0.5.

4.1 电台负载强度

利用 NS-2 网络模拟器通过叠加多个指数流的方法产生不同的负载强度, 生成基准负载强度的参数如表 1 所示.

基准负载强度为.

$$\text{Load} = \frac{\text{BurstTime} * \text{DataRate}}{\text{BurstTime} + \text{IdleTime}} = 0.090\ 9\ \text{kbit/s}$$

(32)

表 1 基准负载强度在 NS-2 中的参数	
Traffic module	Exponential
Packet Size	10 bit
Burst Time	1 s
Idle Time	10 s
Data Rate	10 kb/s

仿真中, 在每个时间步, 各电台均改变其负载强度, 如表 2 所示.

表 2 各仿真时间步电台的负载强度				
时间步/s	0~299	300~599	600~899	900~1 199
电台编号				
1	3	3	3	3
2	9	9	9	9
3, 7, 11	3	6	9	12
4, 8, 12	6	9	12	3
5, 9	9	12	3	6
6, 10	12	3	6	9

电台负载强度的数量值代表其与基准负载强度的倍数.

4.2 电台移动模型

根据电台战术活动特性, 假定电台移动性符合随机路径点移动模型(Random Waypoint Mobility Model). 简言之, 电台在地域随机选择某目的, 以随机速度直线靠近该目的, 到达后, 随机等待一段时间, 在地域内随机选择另一目的, 以此类推.

仿真中, 选择电台的活动地域大小为 $10\ \text{km} \times 10\ \text{km}$, 电台的移动速度和等待时间分别服从以 $[15\ \text{m/s}, 25\ \text{m/s}]$ 和 $[50\ \text{s}, 70\ \text{s}]$ 为范围的均匀分布.

$$\text{SNR}_{d_{\text{user}}}(\text{dB}) = \text{SNR}_{d_0}(\text{dB}) + 10n * \log\left(\frac{d_{\text{users}}}{d_0}\right)$$

(33)

仿真中, 使用 RSSI 测距公式(33) 计算 WANs 和各电台间的 SNRs. 假设无线信号通过自由空间模型传输($n=2$), 并且令 $d_0 = 1\ \text{km}$, $\text{SNR}_{d_0}(\text{dB}) = 0\ \text{dB}$.

4.3 仿真结果

对 JORS 算法分别将 WANs 最大可关联的电台个数设置为 3 和 5 进行两次仿真, 结果由 JORS(1)和 JORS(2)表示.

在每一个时间步, 系统吞吐率(所有电台的吞吐率之和)以及队列长度(各电台缓冲区队列长度之和)在各算法下的曲线如图 3 所示.

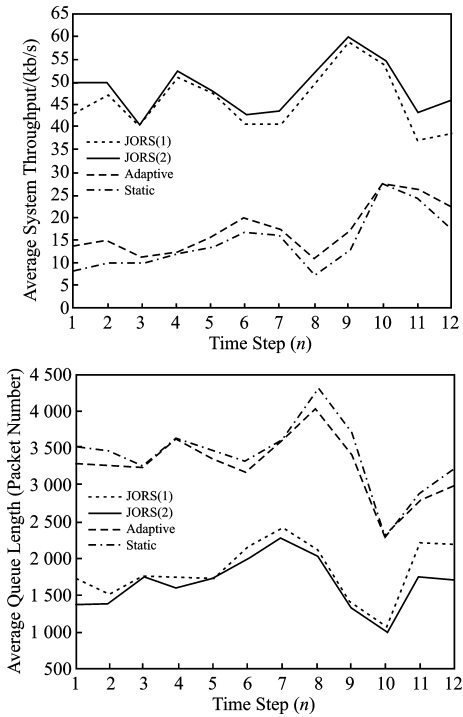


图 3 各算法下的系统性能对比

每一个时间步,相对于其他两种算法,JORS 算法均可有效改善系统吞吐并缓解系统队列长度.而相对于静态分配方式,没有考虑 WANs 和各电台间关联问题的自适应频谱分配算法对系统性能提升有限,在第 4,10 时间步二者具有相似的性能.

在 WANs 最大可关联的电台数由 3 个增加至 5 个后,更多电台可以选择相对自己来说最近的 WAN 关联,而不会“被迫”关联至更远的 WANs,为此 JORS(2)性能优于 JORS(1).

5 结束语

电台“单跳接入”WANs 的组织模式相对于“按级树状”的组织模式有利于电台的灵活接入以及频谱的动态管理.针对该组织模式,提出了联合优化电台关联和频谱分配的算法 JORS.设计了综合考虑电台负载强度和信道 SNR 的权重参数,求解广义指派问题缓解各电台接入 WANs 时的远近效应问题,求解凸整数规划问题使电台获得最优频谱分配解.仿真结果表明,算法具有良好的性能.

参考文献:

[1] Tauil M, Shallcross D, Kant L, et al. Sepectrum allocation in C-NEDAT: A tool to automate MANET design and opportunistically adapt network spectrum use [C] // Military Communications Conference, IEEE MILCOM, IEEE,2011: 1702-1707.

[2] Elmasry G F. A comparative review of commercial vs. tactical wireless networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(10):54-59.

[3] Ali S R, Wexler R S, Army warfighter network-tactical (WIN-T) theory of operation[C]// Military Communications Conference, IEEE MILCOM, IEEE,2013: 1453-1461.

[4] Lei D, Melodia T, Batalama S N, et al. Cross-layer routing and dynamic spectrum allocation in cognitiveradio Ad Hoc networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1969, 59(4): 1969-1979.

[5] Georgiadis L, Neely M J, Tassiulas L. Resource allocation and cross-layer control in wireless networks [M]. Now Publishers Inc, 2006:5-32.

[6] Fette B. Fourteen years of cognitive radio development [C] // Military Communications Conference, IEEE MILCOM, IEEE,2013: 1166-1175.

[7] Nandagopal T, Kim T. E, Gao X. Achieving MAC Layer Fairness in Wireless Packet Networks[C] // Proc. of the 6th ACM Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking MobiCom 2000. ACM, 2000: 87-98.

[8] 孙小玲,李瑞,整数规划[M]. 北京:科学出版社,2010: 23-35.

[9] Sharma G, Shroff N. B, Mazumdar R. R. Maximum weighted matching with iInterference vonstraints[C]// Proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. IEEE press, 2006: 70-74.

[10] Bertsekas D. Nonlinear programming[M]. 2nd ed. Belmont: Athena Scientific, 1999: 191-272.

作者简介:

武婧婧 女,(1983-),硕士研究生,工程师.研究方向为模式识别、软件工程. E-mail:88159073@qq. com.

屈志毅 男,(1957-),教授,硕士生导师.研究方向为模式识别、网络与多媒体信息处理、软件工程、不良信息检测.