

无线网络中兼顾业务类型及公平性的无线资源共享问题研究

惠蕾放, 李建东, 肖丽媛, 丁汉清

(西安电子科技大学 综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 基于图染色理论提出了 2 种无线网络中的无线资源共享算法 C_TDRS 和 S_TDGRS。这 2 种算法分别从子信道和业务流角度考虑, 以尽力满足业务需求为目标, 兼顾了业务类型和资源共享的公平性。仿真结果表明, 2 种算法的共享结果在系统吞吐率和比例公平方面比现有算法更接近最优值, 并且 S_TDGRS 算法对 2 个指标有很好的折衷。

关键词: 图染色; 资源共享算法; 业务类型; 比例公平

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2011)04-0039-08

Radio resource sharing for wireless networks with traffic type and fairness consideration

HUI Lei-fang, LI Jian-dong, XIAO Li-yuan, DING Han-qing

(State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Two radio resource sharing algorithms for wireless networks, C_TDRS and S_TDGRS, were proposed based on graph coloring. They aimed to satisfy users' demands from the perspective of sub-channel and stream respectively, with traffic type and fairness into consideration. Simulation results show that, the sharing results are closer to the optimal solution than the existing one in terms of system throughput and proportional fairness. Besides, S_TDGRS has a good tradeoff for the two criterions.

Key words: graph coloring; resource sharing algorithms; traffic type; proportional fairness

1 引言

无线通信系统的不断演进在各个领域为人们提供了愈加方便快捷的服务。与此同时, 无线用户数量急速增长, 用户对性能(如带宽、速率等)的要求也越来越高; 另外, 虽然会话类业务仍是 3G 及后续通信系统的基本业务类型, 但是用户业务将具有个性化的特征, 并趋于互联网化、生活化、视

频化、媒体化和互动化。

如何高效地利用可用资源, 为需求多样化的用户提供满意的服务是一个基本的但又富有挑战的问题。

近些年来, 无线资源的管理和使用出现了新的方向。授权频段的忙闲可以通过认知无线电(CR, cognitive radio)^[1]技术检测得到, 而动态频谱接入(DSA, dynamic spectrum access)^[2]技术允许非授

收稿日期: 2010-07-02; 修回日期: 2010-11-11

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(60725105); 国家重点基础研究发展计划("973"计划)基金资助项目(2009CB320404); 长江学者和创新团队发展计划基金资助项目(IRT0852); 国家自然科学基金资助项目(61072068); 高等学校创新引智计划基金资助项目(B08038)

Foundation Items: The National Science Fund for Distinguished Young Scholars (60725105); The National Basic Research Program of China (973 Program) (2009CB320404); The Program for Changjiang Scholars and Innovative Research Team in University (IRT0852); The National Natural Science Foundation of China (61072068); The 111 Project (B08038)

权用户机会地接入空闲的授权频道。二者的结合^[2-10]使得无线资源的利用率得到了很大的提高。图染色方法是无线资源共享问题中的一种常用方法。传统的图染色问题旨在用尽可能少的颜色对给定的图染色，文献[11]是其代表性研究。该文提出了 RAND(random)、MNF(minimum neighbors first) 和 PMNF (progressive minimum neighbor first) 3 种机制并给出了相关的结论；文献[5]借鉴了其中的 PMNF 机制，在可用颜色（或信道）和颜色效用（或信道带宽）都不同的场景中进行信道分配，提出了 7 种具有不同标记准则的染色算法，并把其结果和不同系统目标的最优分配结果进行了比较；文献[6]在分析中考虑了授权用户的因素，提出了 3 种列表染色机制；文献[7]构建了 MCCG (multi-channel contention graph) 图，首先寻找最大的不冲突集合，再构建相应的最优化问题进行频谱分配，同时还考虑了公平性的因素。

本文从文献[5]和文献[7]的方法中得到启示，结合未来无线网络中业务类型多样性的特点，提出了兼顾业务类型及公平性的 2 种无线资源共享算法 C_TDRS 和 S_TDGRS。仿真结果表明，2 种算法比原有算法可以更好地满足用户需求，而 S_TDGRS 对系统吞吐率和比例公平两方面有很好的折衷。

2 无线资源共享问题

2.1 业务类型划分

3GPP 及 IMT-Advanced 定义的业务类型有两大类：语音业务和数据业务。前者是基本的业务类型；后者包括流媒体业务（如在线视频等）、交互式业务（如数据库检索、Web 浏览等）和背景类业务（如自动的后台 E-mail 接收等）。按照对传输参数的要求，上述 4 种业务又可以分为实时型业务和尽力而为型业务 2 种。前者对传输时延和抖动有严格的要求，但允许一定的误比特率；后者对时延及抖动要求较为宽松甚至无限制，但是对误比特率和有保证的比特率却有严格的要求。按照这样的划分方法，语音业务和流媒体业务是实时型业务，而交互式和背景类业务则是尽力而为型业务。

本文将采用实时型和尽力而为型的业务划分方式。

2.2 问题描述

网络中在某个时刻有 N 个收发用户对（即 N 个业务流，后面将不区分用户对和业务流的说法），

编号从 1 到 N ，其集合为 N 。假定各用户对同步，并且都具有检测空闲信道的能力。假设可用信道被划分为 M 个正交子信道，编号从 1 到 M ，其集合为 M 。由于这些用户对共享可用频谱，那么，距离在一定范围内的用户对不能占用相同子信道，否则会产生冲突。另外，假定频谱环境是慢变的，在无线资源共享过程中，用户位置、可用资源等信息是保持不变的。

用顶点表示业务流，并以其不同形状区分业务流类型；用颜色表示子信道；用连接线表示业务流的冲突关系，冲突的流不能使用相同的颜色（即子信道），图 1 就是本文研究模型的简化示意图。

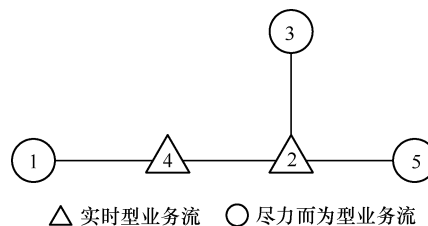


图 1 网络模型示意图

这样，不同需求和类型的业务流共享无线资源的问题就被转换为图 1 的兼顾顶点需求和顶点类型的染色问题。

引入以下一些符号。

N_{RT} 、 N_{BE} 分别表示实时型业务流集合和尽力而为型业务流集合。

$L = \{l_{n,m} | l_{n,m} \in (0,1)\}_{N \times M}$ 是可用子信道表征矩阵。如果子信道 m 对于业务流 n 是可用的，则 $l_{n,m} = 1$ ；反之为 0。在初始状态时，所有用户对都检测到了相同的空闲频谱信息，即所有子信道对所有业务流都是可用的，该矩阵为全 1 矩阵。在资源共享过程中，当某子信道已经被某个流占用时，该子信道对于和这一流冲突的业务流来说都将不可用。因此， L 是不断变化的。相应地，其第 n 行 l_n 表示各子信道对业务流 n 的可用性。

d_n 是业务流 n 对速率的需求，单位为 kbit/s。

$R = \{r_m\}$ 表示子信道 n 的效用值，可以理解为带宽或吞吐率。

$C = \{c_{n,k,m} | c_{n,k,m} \in \{0,1\}\}_{N \times N \times M}$ 是干扰表征矩阵，反映了业务流间在各子信道上是否冲突。如果业务流 n 和 k 同时占用子信道 m 则会有冲突， $c_{n,k,m} = 1$ ，反之 $c_{n,k,m} = 0$ 。

$A = \{a_{n,m} | a_{n,m} \in \{0,1\}\}_{N \times M}$ 是共享结果矩阵。

$a_{n,m}=1$ 表示业务流 n 占用子信道 m 。其第 n 行 a_n 表示业务流 n 可占用的子信道集合。 A 满足:

$$a_{n,m}a_{k,m}=0, \text{ if } c_{n,k,m}=1, \forall n,k \in \mathcal{N}, m \in \mathcal{M}$$

由于资源的共享结果并不唯一, 用 $A_{N,M}$ 表示某个有 N 个业务流, M 个可用子信道的无线网络的资源共享结果集合。

3 无线资源共享算法

3.1 优化问题

从不同的性能要求出发, 资源共享问题对应了多个优化问题。

MST^[5,7] (max-sum-throughput) 是最常见也是最简单的一种问题描述, 其目标是最大化系统当前的吞吐率。MST 问题可以表示为

$$\begin{aligned} & \max \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M a_{n,m} r_m \\ & \text{s.t. } a_{n,m}a_{k,m}=0, \text{ if } c_{n,k,m}=1, \\ & 0 \leq \sum_{m=1}^M a_{n,m} \leq M \end{aligned} \quad (1)$$

仅以最大化系统吞吐率为目标会造成不公平的共享结果。因此, 引入公平性后的优化问题 MPF^[5,7] (max-proportional-fair) 可以表述为

$$\begin{aligned} & \max \sum_{n=1}^N \lg \left(\sum_{m=1}^M a_{n,m} r_m \right) \\ & \text{s.t. } a_{n,m}a_{k,m}=0, \text{ if } c_{n,k,m}=1, \\ & 0 \leq \sum_{m=1}^M a_{n,m} \leq M \end{aligned} \quad (2)$$

由于多种类型业务流的存在, 对于用户来说, 仅仅公平地共享资源并不能满足不同的业务需求。因此, MPF 并不能体现出对各种类型业务流的区别对待。文献[7]引入了需求满足因子 DSF (demand satisfaction factor), 定义为获得的带宽和需求带宽之比, 即

$$DSF_n = \frac{\sum_{m=1}^M a_{n,m} r_m}{d_n} \quad (3)$$

显然, $DSF_n \geq 0$ 。DSF 值越大, 用户满意度越高。为了对满意度进行衡量, 对 DSF 做了这样的等级划分: 如果 $0 \leq DSF_n \leq 0.5$, 这样的结果与需求相差甚远, 称之为无效的分配; 如果 $0.5 < DSF_n < 1.0$, 称之为基本满足需求的分配; 而把 $DSF_n \geq 1.0$

称为满足需求的分配。

相应地, 构造了体现多种业务流比例公平的优化问题 MFPP (max-factor-proportional-fair)

$$\begin{aligned} & \max \sum_{n=1}^N \lg(DSF_n^{\alpha_n}) = \max \sum_{n=1}^N \lg \left(\frac{\sum_{m=1}^M a_{n,m} r_m}{d_n} \right)^{\alpha_n} \\ & \text{s.t. } a_{n,m}a_{k,m}=0, \text{ if } c_{n,k,m}=1, \\ & 0 \leq \sum_{m=1}^M a_{n,m} \leq M \end{aligned} \quad (4)$$

其中, α_n 是一个系数, 用来区分 2 种业务流。这个系数的引入是为了体现实时型比尽力而为型业务流有更高的优先级, 前者的 DSF 对于整个和式有更大的贡献。对数运算、DSF 和 α_n 的同时使用兼顾了用户需求和业务流的优先级。

3.2 共享算法

本文借鉴了文献[5]和文献[7]的方法, 兼顾业务流的需求、业务流类型和网络拓扑, 提出了 2 种无线资源共享算法。

3.2.1 基于信道的资源共享

基于信道的资源共享以子信道为出发点, 在算法执行的每一轮中只分配一个子信道。也就是说, 在每一轮中只针对一个待分配子信道, 按照一定的准则, 将该子信道分配给某业务流。为了操作简单, 依子信道编号执行算法。下面介绍基于信道的业务区分型资源共享 C_TDRS (channel-based traffic differentiated resource sharing) 机制。

在每一轮中, 用户的标记准则如式(5)和式(6)所示。

$$\begin{aligned} \text{label_RT}_{n,m} &= \frac{d_n \sum_{m=1}^M l_{n,m}}{(D_{n,m}+1) \left(\sum_{j=1}^M a_{n,j} r_j + 1 \right)}, \\ & \forall n \in \mathcal{N}_{RT}, m \in \mathcal{M} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{label_BE}_{n,m} &= \frac{d_n}{(D_{n,m,k_{RT}}+1)(D_{n,m}+1) \left(\sum_{j=1}^M a_{n,j} r_j + 1 \right)}, \\ & \forall n \in \mathcal{N}_{BE}, m \in \mathcal{M} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, 式(5)、式(6)分别针对实时型和尽力而为型业务流。式(5)中的 $\sum_{m=1}^M l_{n,m}$ 表示业务流 n 的当前可用子

信道数, $D_{n,m}$ 表示如果业务流 n 工作在子信道 m 上时, 和其冲突的业务流个数。式 (6) 中的 $D_{n,m,k_{RT}}$ 表示如果业务流 n 工作在子信道 m 上时, 和其冲突的实时业务流个数。实时型业务流由于 $\sum_{m=1}^M l_{n,m}$ 的存在

可能获得较大的 $label$ 值; 尽力而为型业务则由于分母中 $D_{n,m,k_{RT}}$ 的引入而增加了周围实时型业务获得信道的机会。对于有相同 $(D_{n,m} + 1) \left(\sum_{j=1}^M a_{n,j} r_j + 1 \right)$

值的 2 个实时型业务流而言, 具有较大 $\sum_{m=1}^M l_{n,m}$ 的那个用户 $label$ 值大, 这样做的目的是把提供满足需求的服务放在第一位, 其次再兼顾公平性。

所有业务流标记完毕后, 具有最大 $label$ 值的那个流将获得子信道, 即

$$color_m = \arg \max label_{n,m} \quad (7)$$

算法执行过程如下。

步骤 1 初始化:

$$l_{n,m} = 1, a_{n,m} = 0, \forall n \in N, m \in M$$

步骤 2 分配过程:

$$m = 1;$$

While($\exists l_{n,m} \neq 0, \forall n \in N, m \in M$)

1) 各业务流依式(5)和式(6)计算 $label_{n,m}$ 并交互比较, 依照式(7), 业务流 n 获得子信道 m 并广播此信息;

2) 业务流 n 更新 $a_{n,m}$ 、 $l_{n,m}$, n 的冲突流更新 $l_{n,m}$;

3) $m = m + 1$, 如果 $m = M + 1, m = 1$ 。

步骤 3 结束: 算法终止, 输出结果。

C_TDRS 是对文献[5]中 CMPF (collaborative-max-proportional-fair) 机制的改进, 为了统一起见, 把后者称为 C_TNDRS (channel-based traffic non-differentiated resource sharing)。由于 C_TNDRS 不区分业务类型, 其标记准则为 (式(8)和文献[5]的式(11)略有不同):

$$label_{n,m} = \frac{d_n}{(D_{n,m} + 1) \left(\sum_{j=1}^M a_{n,j} r_j + 1 \right)}, \forall n \in N, m \in M \quad (8)$$

然后依式(7)染色。

2 种算法的执行过程类似, 区别仅在于 $label$ 的计算公式, 在此不赘述。

3.2.2 基于业务流的资源共享

基于信道的共享机制每轮只针对一个子信道, 当子信道个数较多时所需的轮数较多。因此, 又提出了一种基于业务流的共享机制, 即基于业务流的业务区分型贪婪资源共享 S_TDGRS (stream-based traffic differentiated greedy resource sharing) 机制。

在每一轮中, 用户的标记准则为

$$label_n = \frac{d_n \alpha_n}{(N_{n,0} + 1) \left(\sum_{m=1}^M l_{n,m} + 1 \right) \left(\sum_{j=1}^M a_{n,j} r_j + 1 \right)}, \forall n \in N \quad (9)$$

其中, $N_{n,0}$ 表示业务流 n 冲突的流中尚未获得子信道的相邻流的个数。 α_n 用来区分 2 种业务流, 与式(4)中的 α_n 含义相同。

S_TDGRS 是一种贪婪的资源共享机制, 在每轮中具有最大 $label$ 的业务流将依自己的需求得到若干子信道 (子信道的选取将在算法执行过程中描述)。

算法执行过程如下。

步骤 1 初始化:

$$l_{n,m} = 1, a_{n,m} = 0, \forall n \in N, m \in M$$

步骤 2 分配过程:

While($\exists l_{n,m} \neq 0, \forall n \in N, m \in M$)

1) 各业务流依式(9)计算 $label_n$ 并交互比较;

2) 对于 $label_n$ 最大的业务流 n :

如果所有可用子信道提供的速率小于 n 的需求, 则该流获得当前所有可用子信道; 否则依需求分配若干子信道给 n ; 业务流 n 广播其占用的子信道信息;

3) 业务流 n 更新 $a_{n,m}$ 、 $l_{n,m}$, n 的冲突流更新 $l_{n,m}$ 。

步骤 3 结束: 算法终止, 输出结果。

4 仿真结果

对几种算法进行仿真和比较。在仿真中, 假定各正交子信道是等带宽的, 则 r_m 为常数。若各子信道可提供的速率均为 100kbit/s, 即 $r_m = 100\text{kbit/s}, \forall m \in M$ 。那么, 业务流对速率或带宽的需求就等效为对子信道个数的需求。

α_n 用来区分不同类型的业务流, 而业务类型仅仅是体现公平性的一个参数。如果不同类型业务的

α_n 取值相同, 则忽视了业务流类型的差异; 而将 α_n 设置为差别较大的 2 个值, 将会弱化其他参数对公平性的影响, 甚至不能体现其他参数导致的业务流优先级的差别。因此, 仿真时将实时型和尽力而为型业务流的 α_n 值分别取为 2 和 1。

以图 1 所示的 5 个业务流的简单场景为例,

$N=5, M=7$ 。业务流 2 和业务流 4 是实时型的, 其他为尽力而为型。各业务流的需求分别为 400kbit/s、200kbit/s、400kbit/s、300kbit/s 和 400kbit/s。

表 1~表 5 是该场景下 3 种机制的共享结果。

为了和最优解进行比较, 给出了前述 MST 和 MFPP 问题的最优解, 如表 4 和表 5 所示。

表 1 C_TNDRS 的共享结果

业务流编号	业务流类型	需求 (100kbit·s ⁻¹)	获得的子信道个数	子信道编号	DSF
业务流 1	尽力而为型	4	4	1, 2, 3, 4	1.00
业务流 2	实时型	2	1	1	0.50
业务流 3	尽力而为型	4	6	2, 3, 4, 5, 6, 7	1.50
业务流 4	实时型	3	3	5, 6, 7	1.00
业务流 5	尽力而为型	4	6	2, 3, 4, 5, 6, 7	1.50

表 2 C_TDRS 的共享结果

业务流编号	业务流类型	需求 (100kbit·s ⁻¹)	获得的子信道个数	子信道编号	DSF
业务流 1	尽力而为型	4	3	2, 5, 7	0.75
业务流 2	实时型	2	2	2, 5	1.00
业务流 3	尽力而为型	4	5	1, 3, 4, 6, 7	1.25
业务流 4	实时型	3	4	1, 3, 4, 6	1.33
业务流 5	尽力而为型	4	5	1, 3, 4, 6, 7	1.25

表 3 S_TDGRS 的共享结果

业务流编号	业务流类型	需求 (100kbit·s ⁻¹)	获得的子信道个数	子信道编号	DSF
业务流 1	尽力而为型	4	4	4, 5, 6, 7	1.00
业务流 2	实时型	2	3	4, 5, 7	1.50
业务流 3	尽力而为型	4	4	1, 2, 3, 6	1.00
业务流 4	实时型	3	3	1, 2, 3	1.00
业务流 5	尽力而为型	4	4	1, 2, 3, 6	1.00

表 4 MST 的共享结果

业务流编号	业务流类型	需求 (100kbit·s ⁻¹)	获得的子信道个数	子信道编号	DSF
业务流 1	尽力而为型	4	0	—	0.00
业务流 2	实时型	2	0	—	0.00
业务流 3	尽力而为型	4	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1.75
业务流 4	实时型	3	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	2.33
业务流 5	尽力而为型	4	7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1.75

表 5 MFPP 的共享结果

业务流编号	业务流类型	需求 (100kbit·s ⁻¹)	获得的子信道个数	子信道编号	DSF
业务流 1	尽力而为型	4	3	1, 2, 3	0.75
业务流 2	实时型	2	3	1, 2, 3	1.50
业务流 3	尽力而为型	4	4	4, 5, 6, 7	1.00
业务流 4	实时型	3	4	4, 5, 6, 7	1.33
业务流 5	尽力而为型	4	4	4, 5, 6, 7	1.00

MST 以系统吞吐率为目标，业务流 3、业务流 4 和业务流 5 都占用了所有子信道，使得业务流 1 和业务流 2 无资源可用；而 MFPP 的结果比 MST 公平，并且优先满足了实时型业务流的需求。

图 2 比较了 3 种算法各业务流的 DSF 值。可以看出，C_TNDRS 和 C_TDRS 中分别存在无效的分配和基本满意的分配，而 S_TDGRS 为每个流都提供了满足需求的分配。

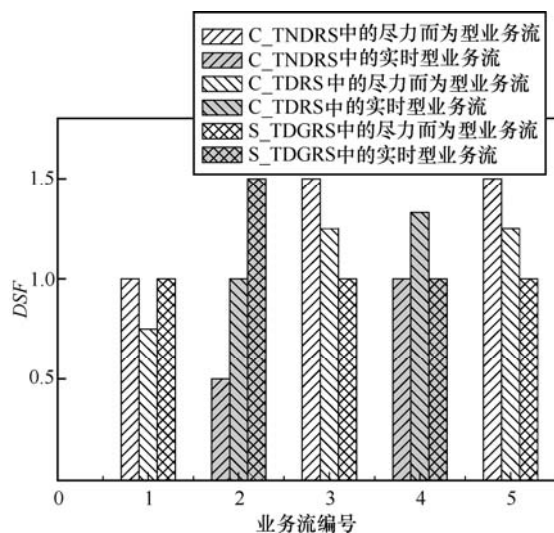


图 2 各业务流 DSF 值比较

图 3 和图 4 比较了 5 种共享结果的总吞吐率（如式（1）中的定义）及比例公平性（如式（4）中的定义）。从图中可以看出，MST 的最优解吞吐率最大，但是由于业务流 1 和业务流 2 没有得到子信道，式（4）中的 $\sum_{n=1}^5 \lg(DSF_n^{\alpha_n})$ 为负无穷（为了方便图示，

图 4 中以远小于其他 4 个值的负数表示负无穷），公平性很差。C_TNDRS 没有考虑业务类型的差异，虽然总吞吐率为 2Mbit/s，但是从公平性角度而言，由于实时型业务流 2 的 DSF 值为 0.5，导致系统的比例公平值仅为 -0.25。C_TDRS 机制对不同类型的流区别对待，比例公平值提高至 0.312，但吞吐率下降至 1.9Mbit/s。S_TDGRS 优先考虑了实时型业务流的需求，其比例公平值是 0.352，总的吞吐率为 1.8Mbit/s。

通过对 3 种算法结果和 2 种最优结果的比较，可以看出，S_TDGRS 机制从比例公平性上讲最接近 MFPP 的最优解，总吞吐率略低于 MST 的最优解；C_TNDRS 机制从总吞吐率的角度上看最接近 MST 的最优解，但公平性却很差。

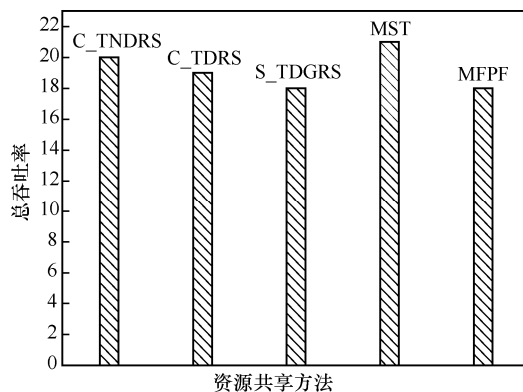


图 3 系统吞吐率比较

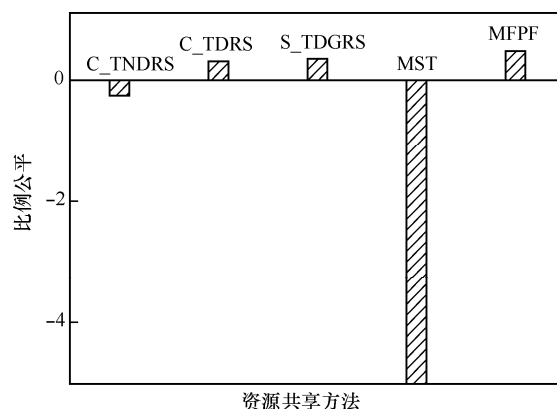


图 4 比例公平比较

用户总是期望得到的服务能够满足自己的需求。如果不考虑业务类型差异只是单纯公平地共享资源，把很少量的资源分配给业务流，一方面不能满足用户需求；另一方面，从资源的价值上讲，无效的分配没有发挥资源的作用也是对资源的浪费。S_TDGRS 从用户的角度出发，实施贪婪的染色机制，使尽可能多的业务流获得满足需求的资源。

构建 $N=50, M=80$ 的随机拓扑网络并进行了 1 000 次的仿真，其平均的实时型和尽力而为型业务流均为 25 个，并且其平均相邻业务流也为 25 个。业务流的需求可能为 2Mbit/s, 3Mbit/s 或 4Mbit/s，各子信道所能提供的速率依然为 100kbit/s。

从图 5 和图 6 中可以看出，对于实时型业务流，C_TNDRS 仅从需求和冲突流的个数角度考虑公平性，90% 以上的业务流仅获得了少量资源，无效分配的比例很高，C_TDRS 中这一现象有所改善，而 S_TDGRS 采取了贪婪的染色机制，满足需求的业务流比例提高至 40%，在 3 种算法中最高；对于尽力而为型业务流，3 种分配比例的分布和前者相似，但是由于其优先级低于实时型业务流，S_TDGRS 中满足需求的比例远小于前者，该值仅为 2.4%。

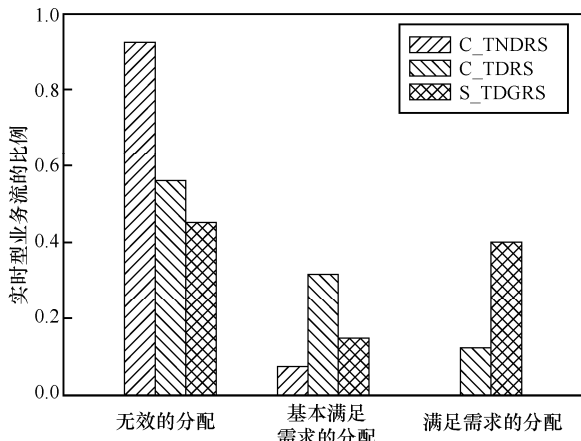


图 5 实时型业务流的 DSF 值分布

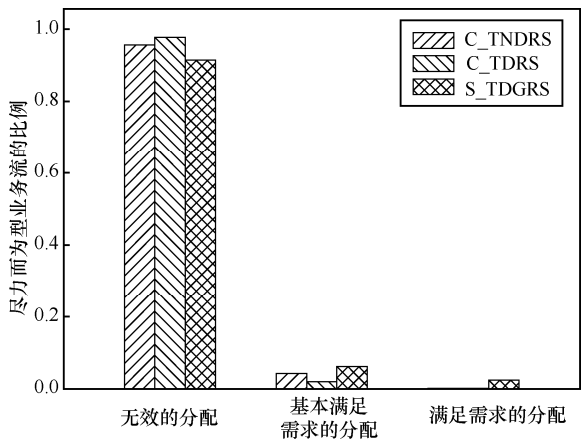


图 6 尽力而为型业务流的 DSF 值分布

可用资源的多少也是影响资源共享结果的因素。对 50 个业务流时不同子信道个数的随机网络拓扑进行了 1 000 次仿真和统计平均。图 7 所示的是子信道个数从 50 个增加到 110 个时满意的实时型业务流比例。在资源紧缺的情况下，C_TNDRS 没有考虑业务类型及获得的资源等因素的影响，资源共享的结果是各业务流都获得了少量的资源，虽然满意的实时业务流的比例随子信道个数的增加而略有增加，但是仍然维持在一个非常低的水平。如图 7 所示，C_TNDRS 机制的该比例最高达到 1%；C_TDRS 机制则不同，当子信道个数增多时，该比例呈线性增长，在 110 个子信道时，该值提高至 27%；具有最高比例并且该比例稳步增加的是 S_TDGRS 机制，110 个子信道时该值增至约 60%。

综合吞吐率和比例公平性 2 个参数，结合用户总是期望需求被满足的愿望，S_TDGRS 是 3 种机制中的最佳方案，把为用户提供满意的服务作为首要目标，再兼顾资源共享的公平性，得到了一个性能折衷的共享结果。

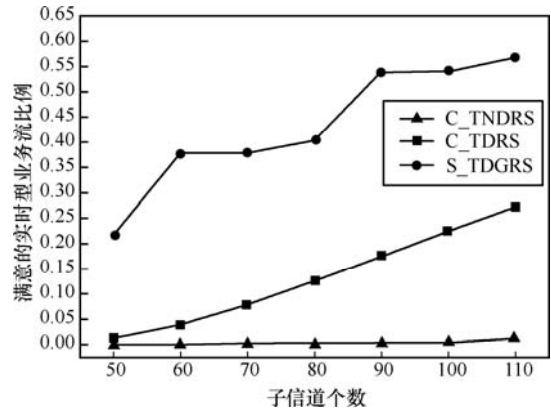


图 7 子信道个数不同时满意的实时型业务流比例

5 结束语

本文借鉴了 CSGC 染色思想和 PMNF 染色机制，分别从资源和业务流角度出发，提出了 2 种兼顾业务类型及公平性的无线资源共享机制 C_TDRS 和 S_TDGRS，通过仿真验证了其有效性，并和现有算法进行了比较。结果表明，2 种算法在公平性和有效性上比原始算法有很大的提高，并且 S_TDGRS 对 2 个性能有更好的折衷。

由于资源的有限性，对于部分业务流来说，它得到的资源远不能满足自己的需求，在实际中可以理解为该流被阻塞。在下一次的计算中，可以通过设置高的优先级或者资源借用的方式满足这些用户的需求。

本文的资源共享问题研究了如何针对当前业务进行资源的初始分配，是资源管理的第一步。当资源移动时，如用户移动或信道质量恶化，如何合理地管理资源实现资源的动态共享是另一个值得关注的问题，这将成为后续的研究重点。

参考文献：

[1] MOTIOLA J, MAGUIRE G. Cognitive radio: making software radios more personal[J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4): 13-18.

[2] AKYILDIZ I, LEE W, VURAN M. NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey[J]. Computer Networks (Elsevier), 2006, 50(13): 2127-2159.

[3] 蒋师, 屈代明, 吴露露. 动态频谱接入技术的分类和研究现状[J]. 通信技术, 2008, 11(41):20-22.

JIANG S, QU D M, WU L L. A taxonomy of dynamic spectrum access technologies and current research progress[J]. Communication Technology, 2008, 11(41):20-22.

[4] ZHAO Q, SADLER B. A survey of dynamic spectrum access[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2007, 24(3): 79-89.

[5] ZHENG H, PENG C. Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access[A]. IEEE International Conference on Communication (ICC)[C]. Seoul, Korea, 2005. 3132-3136.

[6] WANG W, LIU X. List-coloring based channel allocation for open-spectrum wireless networks[A]. IEEE Conference on Vehicular Technology (VTC-fall)[C]. Dallas, TX, USA, 2005. 690-694.

[7] TANG J, MISRA S, XUE G. Joint spectrum allocation and scheduling for fair spectrum sharing in cognitive radio wireless networks[J]. Computer Networks(Elsevier), 2008, 52(11): 2148-2158.

[8] ZOU C, JIN T, CHIGAN C. QoS-aware distributed spectrum sharing for heterogeneous wireless cognitive networks[J]. Computer Networks (Elsevier), 2008, 52(4): 864-878.

[9] 邱晶, 周正. 认知无线网络中的分布式动态频谱共享[J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(1): 69-72.

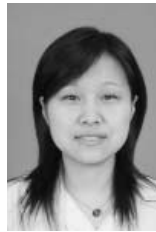
QIU J, ZHOU Z. Dynamic spectrum sharing strategy in cognitive radio systems[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009, 32(1): 69-72.

[10] 李维英, 陈东, 邢成文. 认知无线电系统中 OFDM 多用户资源分配算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2007, 34(3): 368-372.

LI W Y, CHEN D, XING C W. Multiuser OFDM resource allocation algorithm for cognitive radio[J]. Journal of Xidian University, 2007, 34(3): 368-372.

[11] RAMANATHAN S. A unified framework and algorithm for channel assignment in wireless networks[J]. Wireless Networks, 1999, 5(2): 81-94.

作者简介:



惠蕾放 (1983-), 女, 陕西澄城人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为无线网络中的资源管理、异构网络中的资源分配、博弈论、图论等。



李建东 (1962-), 男, 江苏阜宁人, 西安电子科技大学研究生院常务副院长和综合业务网理论及关键技术国家重点实验室主任、博士生导师, 主要研究方向为宽带无线 IP 技术、移动通信、软件无线电、ad hoc 自组织网络等。



肖丽媛 (1981-), 女, 陕西咸阳人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为移动 IPv6、WiMax 及认知网络中的切换问题等。



丁汉清 (1970-), 男, 湖北汉川人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为认知无线网络中的频谱感知技术、嵌入式系统开发与应用等。

.....
(上接第 38 页)

[18] RENEGAR J. A Mathematical View of Interior-Point Methods in Convex Optimization[M]. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001.

[19] BOYD S, VANDENBERGHE L. Convex Optimization[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

[20] DUDIK M, PHILLIPS S J, SCHAPIRE R E. Maximum entropy density estimation with generalized regularization and an application to species distribution modeling[J]. Journal of Machine Learning Research, 2007, 8: 1217-1260.

[21] BERA A K, PARK S Y. Optimal portfolio diversification using maxi

mum entropy principle[J]. Econometric Reviews, 2008, 27(4-6): 484-512.

作者简介:



田大钢 (1958-), 男, 江西瑞昌人, 博士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为优化算法。