

基于 DSA 与 JRRM 联合的无线网络资源分配方法^①

靳玉涵^② 刘泽民

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘 要 为了实现不同运营商运营的异构网络的无线资源的有效分配,提出了一种基于动态频谱接入(DSA)与联合无线资源管理(JRRM)联合的无线通信频谱资源分配方案。该方案可实现 DSA 方法和 JRRM 方法的特性互补,同时将博弈论引入到资源分配的决策过程中,利用夏普里值模型使参与博弈的各方的收益达到最大化。通过与 DAS 方法及 JRRM 方法的比较和无线网络通信负载的模拟实验分析表明,此方案改进了无线资源利用率。

关键词 动态频谱接入(DSA), 联合无线资源管理(JRRM), 联合, 夏普里值

0 引 言

在未来的 3G 无线网络中,不同运营商运营的异构网络将会提供丰富多样的业务。同时,为了满足无线资源的巨大需求,需要有一个既要考虑资源分配的最优化,又要保证运营商利益的最大化的合理的解决方案。在过去的几年中,研究者都在研究如何更加合理地利用有限的无线资源,其中比较重要的解决方案是动态频谱接入^[1](dynamic spectrum access, DSA)和联合无线资源管理^[2](joint radio resource management, JRRM)。与传统的频谱分配策略不同,DSA 在不对授权用户造成干扰的前提下,使非授权用户伺机使用未被利用的授权频段,以增加时域、空域以及频域上的频谱复用。DSA 技术不仅能解决频谱稀缺问题,挖掘潜在的带宽并减少干扰,从而大幅提升无线网络性能;还有望在日益拥挤的无线环境中实现各种通信系统的共存、兼容和互用。现阶段,由于软件无线电技术的快速发展,DSA 已经成功地实现。同时,传统的无线资源管理是为了支持单一蜂窝网络中的智能化呼叫控制、流量调度和功率分配等,其目的是为了最优化使用无线资源并最大化系统容量。而 JRRM 针对的是耦合多种接入网络的异构网络,其目的是为了支持不同接入技术之间的智能化互通,基于重配置技术以及业务测量来整体优化异构网络的资源利用率,从而成功解决了未来异构网络中的高度复杂的资源分配问题。

然而,大部分 DSA 的研究主要集中在基于负载预测的商业应用中,如果存在突发业务或不完全负载预测,则无法消除频段中的空白频谱^[3],其中突发业务是指在特定的时间和地点产生的突发的、大量的业务流量,不完全负载预测是指实际的负载与预测的负载之间存在着差异。同时,JRRM 无法适应实时业务的要求,因为其不能有效地保证服务质量(QoS),也不能前摄为实现既定目标而主动、有意识地做出决策并为此采取积极行动地自适应于用户频繁变化的需求。针对上述问题,本文将 DSA 和 JRRM 联合在一起来实现资源分配,使它们的不同特性能够互补。为了补偿采用 DSA 带来的负载预测损失,JRRM 中的负载均衡技术被用来处理实时的业务需求。同时,我们将夏普里值模型的概念引入到合作博弈的各运营商的交易中,使各方的收益达到最大化。此外,我们将 DSA 和 JRRM 的联合算法与分别使用 DSA 和 JRRM 的算法进行了比较,并通过仿真证明,DSA 和 JRRM 的联合可使频谱利用率得到显著提高。

1 DSA 和 JRRM 联合的定义

如图 1 所示,4 个无线接入网(radio access network, RAN)从 DSA 和 JRRM 的联合交易中获益。首先,我们介绍一些背景和定义,然后解释系统的不同部分如何取得收益以及它们在交易中的作用。

^① 863 计划(2006DFA11050)资助项目。

^② 男,1982 年生,博士生;研究方向:移动通信理论与技术;联系人,E-mail: jinyuhan.bupt@gmail.com
(收稿日期:2007-12-25)

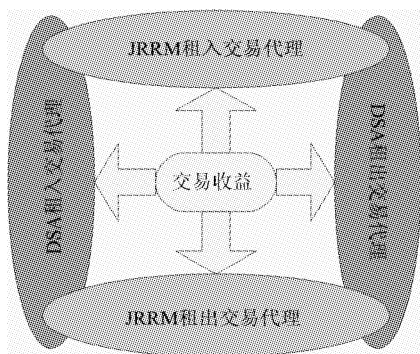


图 1 无线资源交易的场景

1.1 系统概况

DSA 和 JRRM 联合交易的概念是由频谱交易^[4]引申来的,所有的分布式接入网都能够进行频谱租用和带宽交易。在 DSA 和 JRRM 的联合交易中,如果一个接入网不仅能满足它自身的业务需求,并且有额外的资源,它就可以出让这部分资源使自身利益最大化;相反,如果一个接入网由于业务的增长而导致资源紧缺,它就会去寻找新的资源。以下介绍交易中有关保证接入网之间的频谱交易能够顺利进行的几个概念。

(1)交易代理:为了完成交易,每一个接入网都与一个智能的交易代理相连,就像现实交易中的代理一样,交易代理负责 DSA 和 JRRM 的交易并做出一系列的决策。例如,何时租出/租入资源,租出/租入多少资源,以怎样的价格租出/租入资源等。根据在 DSA 和 JRRM 联合市场中的作用不同,交易代理可以分为 DSA 租入代理,DSA 租出代理,JRRM 租入代理和 JRRM 租出代理 4 类。

(2)交易单位:交易单位负责资源的分配。JRRM 能够处理一个用户以及多个用户的切换和接入,而 DSA 中的资源分配则是粗粒度的。在本文中,我们认为 DSA 能够管理组交易,其中最小的组构成了交易单位,JRRM 则能够处理单独的交易单位。

(3)交易周期:DSA 和 JRRM 的联合交易是周期性的操作,常见的间隔时间在 1h 以内,资源的租用协议在规定的交易周期期满后将会自动失效。

1.2 无线接入网的收益

无线接入网在 DSA 和 JRRM 联合中的收益可以分为三部分:第一部分是利用原始频谱提供业务获得的收益;第二部分是前摄的 DSA 交易收益;第三部分是当前的 JRRM 交易收益。

(1)业务提供收益:如果接入网没有租出/租入

的行为发生,它的交易代理就利用交易单位提供一个交易周期内的业务,此时其获得的收益为 P_{ser} 。

(2)DSA 交易收益:从 DSA 前摄的角度来看,实际的业务需求也许会 and 预测的业务需求不一致,为了保证 DSA 的收益,我们定义了 DSA 和 JRRM 联合中的两个关键步骤。

首先,DSA 如果要租用交易代理,接入网要预先支付一部分 $P_{advance}$,不管负载预测的结果如何,这一部分都是不可归还的。其次,当实际的业务需求得到满足后,将进行收益的计算,DSA 租入交易代理的收益为 $(P_{ser} - P_{advance})$,同时 DSA 租出交易代理的收益为 $(P_{ser} + P_{advance})$ 。

(3)JRRM 交易收益:由于 JRRM 对实时业务有敏感性,JRRM 也许会对将来的业务提供产生消极影响,比如用户满意度以及接入网声誉的下降等。JRRM 的收益可定义为 $\delta - P_{ser}$,其中 δ 为声誉指数。

定义接入网在一定时期的总收益 V_{sum} 为

$$V_{sum} = V_{serprov} + V_{DSA} + V_{JRRM} \quad (1)$$

其中 $V_{serprov}$ 是业务提供的收益, V_{DSA} 是 DSA 交易的收益, V_{JRRM} 是 JRRM 交易的收益。

为了使运营商的利益最大化,以下介绍一种联合了 DSA 和 JRRM 的解决方案。

2 协同网络中的收益分配

由于现存的公共导频信道和其他无线感知技术的发展,我们假设交易的各方能够了解必要的交易信息,此外,交易代理在交易过程中起到协调作用。因此,不同运营商之间的收益分配就是合作博弈^[5]。博弈论中最常见的模型就是夏普里值^[6],它被用来分配 DSA 和 JRRM 联合中的收益。

2.1 合作博弈

所谓合作博弈是指在博弈中,通过合作,各方能够达成一致,从而实现各方的利益。博弈论中的合作并不意味着己方收益的损失,而是每一方为了获得更多收益的协作。这就是为什么合作博弈能解决收益分配问题的原因。

合作博弈的应用场合是多方成员使用他们各自的方法实现合作中的收益最大化,这恰恰反应了 DSA 和 JRRM 联合网络中的实际情况:不同接入网的交易代理共享业务提供、DSA 交易和 JRRM 交易的收益,同时,这些代理还要协作以获得尽可能多的收益。因此,可以将收益分配看作合作博弈,将接入

网的集合看作协作网络。

2.2 收益分配中夏普里值的应用

图 2 是基于夏普里值的 DSA 和 JRRM 联合的收益分配过程。在图中,每一个交易代理都是一个决策者,每个交易代理负责协调交易中的各方,使每一方的收益分配最大化。

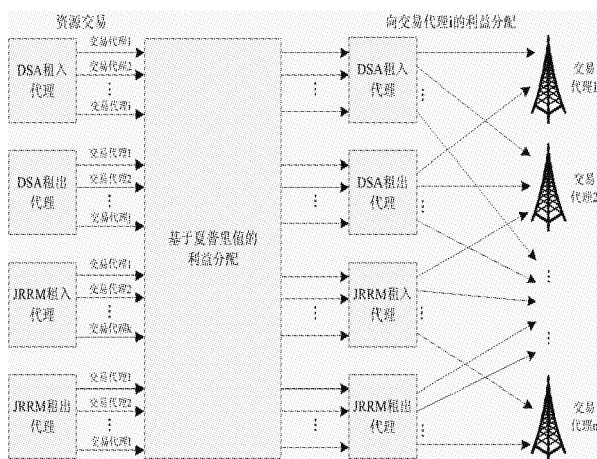


图 2 基于夏普里值的交易收益分配

从不完全负载预测的角度来看,一些交易代理可能既是 DSA 代理又是 JRRM 代理。无论交易代理的形式如何,它的收益应是它在所有协作形式中的收益的总和,最终分配给它的收益是所有可能的协作的增加值,这对于博弈中的每个代理是公平而且必要的。

3 DSA 和 JRRM 联合的实现

DSA 和 JRRM 的联合交易是周期性的,在每一个周期内交易代理都要完成 4 个步骤:上一周期的收益结算;本周期的 JRRM 调整;下一周期的 DSA 交易;基于夏普里值的收益分成。

(1) 收益结算

如果当前的交易代理是周期 $(t-1)$ 内的 DSA 租入代理或 DSA 租出代理,而且在周期 t 内根据实际的负载获得了频谱收益,则收益将会是当前周期内的业务提供收益。

为了进一步在协作网络间共享收益,接入网在 DSA 交易中获得的收益应存储在 DSA 交易信息库 (trading information repository, TIR) 中,用做下一步的收益共享处理。

(2) JRRM 调整

由于不完全负载预测的原因,也许会在资源过剩或不足的情况。在收益结算后,交易代理检查

当前资源的使用状况并对 JRRM 做出调整,以有效地利用剩余的资源。JRRM 租入或租出接入网可根据当前的资源使用率 r_c 进行定义:

$$r_c = S_c / S_a \quad (2)$$

其中 S_c 是当前的负载, S_a 是原始分配给接入网的交易单位的数量。

如果 $r_c > 1$, 接入网仍需要租入资源,其交易代理可看作是 JRRM 租入代理。

如果 $0 < r_c < 1$, 接入网仍有富余的资源,其交易代理可看作 JRRM 租出代理。

交易代理将智能地处理 JRRM 交易以消除 DSA 的不足,并且向 JRRM 交易信息库输入必要的交易信息。

(3) DSA 交易

与 JRRM 调整类似,交易代理处理 DSA 交易时也要遵循图 3 的步骤:预测下一周期的负载,检查当前资源的使用状况,从而基于预测的资源使用率以决定 DSA 租入或租出接入网,执行 DSA 交易。

(4) 收益共享

如图 3 中所示,当前的交易代理要一直等待,直到其他所有的交易代理都完成以上的三步。由于每一个交易代理都要通过合作来完成对运营商的收益贡献,基于夏普里值的分配方案将最优地向每一个接入网分配交易收益。

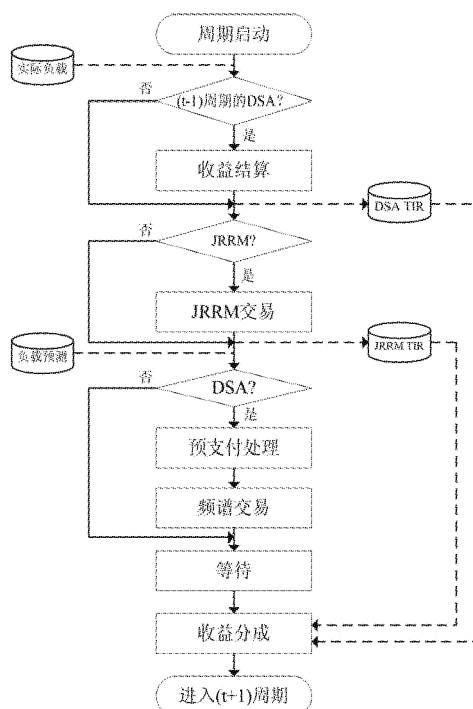


图 3 DSA 和 JRRM 联合交易的流程

4 仿真结果及分析

4.1 仿真模型

我们的仿真模型模拟了通用移动通信系统 (UMTS)、全球移动通信系统 (GSM) 和地面数字视频广播 (DVB-T) 的覆盖网络, 基于不完全负载预测的方案, 在 24h 内分别对采用 BDSA^[7]、ATLB^[8] 与采用 DSA 和 JRRM 联合的方案进行仿真, 并在收益提高方面做出了比较。其中, BDSA 和 ATLB 是我们已经实现的分别基于 DSA 和 JRRM 的改进系统。

为了验证比较, 我们将不同接入网中的业务抽象到交易单位中, 并假设所有的无线资源是 19000 个交易单位, 其中 UMTS, GSM 和 DVB-T 分别拥有 5000 个, 4000 个, 10000 个交易单位。对于 DSA 和 JRRM 的联合, 每一个交易单位的业务提供收益 P_{ser} 定义为 0.01, 预先支付的部分 P_{advance} 为 0.004。TP 为交易周期, λ 为常量, δ 为声誉指数, n 为接入网个数。仿真的主要参数如表 1 和表 2 所示。

表 1 仿真参数(一)

RAN	DVB-T	UMTS	GSM
S_a	10000	50000	40000

表 2 仿真参数(二)

P_{ser}	P_{advance}	TP/h	λ	δ	n
0.01	0.004	0.25	100	0.7	3

我们部署了基于当前值的简单的不完全负载预测方案以评估业务负载的状况: 将 t 时刻的负载值作为 $t+1$ 时刻的估计值, 并利用双高斯函数和梯形函数分别模拟 UMTS 和 GSM 的统计负载, DVB-T 的历史曲线由[9]获得。如图 4 所示, UMTS, GSM 和 DVB-T 有不同的时变负载, 交易单位在三个接入网间动态地交易资源。

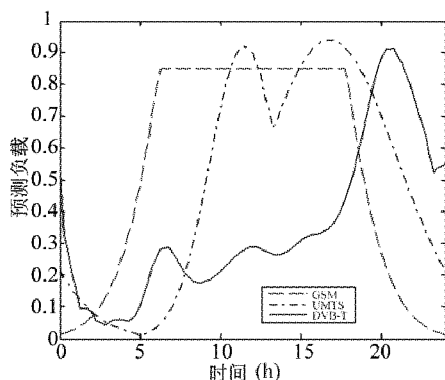


图 4 时变的业务需求

4.2 结果和分析

我们比较了在实际环境中 24h 内 UMTS, GSM 和 DVB-T 三个接入网的收益。如图 5 至图 7 所示, 与单独使用 BDSA 与 ATLB 相比, 使用 DSA 和 JRRM 联合的方法在三个接入网中明显获得更多的收益。

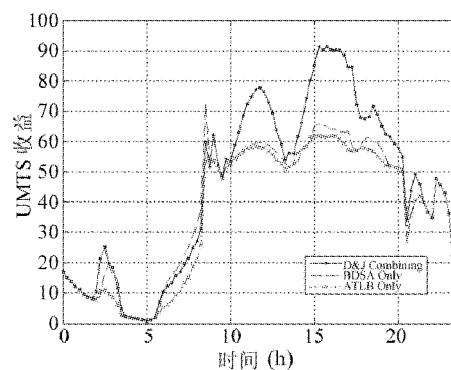


图 5 UMTS 收益

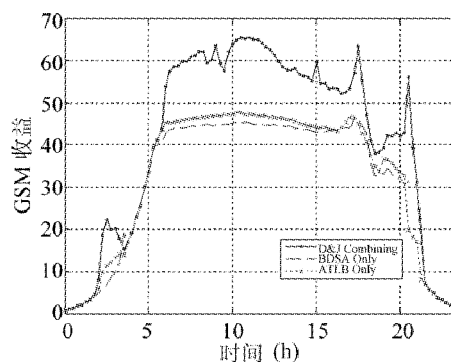


图 6 GSM 收益

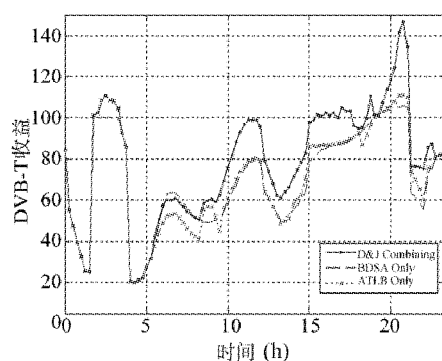


图 7 DVB-T 收益

通过比较, 我们得出在 DSA 和 JRRM 联合中允许 DSA 交易和 JRRM 交易的集成, 而这在 BDSA 和 ATLB 中是不可能的。具体来说, BDSA 或其他 DSA 方法难以处理实时业务需求, ATLB 或 JRRM 则缺少必要的预测机制。利用夏普里值, DSA 和 JRRM 联合充分利用 DSA 和 JRRM 的优势, 有效地增加了接

入网的收益。特别是在业务繁忙时,它们的收益平均增长了 20%。

通过资源的交易和收益的提升,更多的业务需求得到了满足,同时,资源利用率和用户满意度的提高必将使运营商获得最大化的收益。

5 结 论

在本文中我们提出了一个 DSA 和 JRRM 联合的方案以解决协同网络中的资源分配问题。利用合作博弈论中的夏普里值模型,不同运营商的无线接入网能够相互协作以实现最大化的群体利益以及各自的利益。仿真的结果表明 DSA 和 JRRM 联合显著地提高了频谱利用率。

参考文献

- [1] Berger R J. Open spectrum: a path to ubiquitous connectivity. *ACM Queue*, 2003, 1(3): 60-68
- [2] Drew N J, Dillinger M. Evolution toward re-configurable user equipment. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39(2): 158-164
- [3] McHenry M. Spectrum white space measurements. <http://www.newamerica.net>: New America Foundation Broadband Forum, 2003
- [4] George D, Panagiotis D, David G, et al. Cognitive radio, spectrum and radio resource management. <http://www.wireless-world-research.org>: Wireless World Research Forum, 2004
- [5] Osborne M J, Rubinstein A. A Course in Game Theory. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press, 1994. 21-36
- [6] Shapley L S. A value for n-person games. *Annals of Mathematics Studies*, 1953, 4: 307-317
- [7] Pan M, Liang S, Xiong H, et al. A novel bargaining based dynamic spectrum management scheme in reconfigurable systems. In: Proceedings of the International Conference on Systems and Networks Communication. Tahiti, French Polynesia, 2006. 54-56
- [8] Zhang Y, Zhang K, Ji Y, et al. Adaptive threshold joint load control in an end-to-end reconfigurable system. In: Proceedings of the 15th IST Mobile & Wireless Summit, Mykonos, Greece, 2006. 133-116
- [9] Kiefl B. What will we watch? A Forecast of TV Viewing Habits in 10 Years. New York: The Advertising Research Foundation, 1998. 22-29

Research on resource allocation based on DSA-JRRM combination in wireless networks

Jin Yuhan, Liu Zemin

(Key Laboratory of Universal Wireless Communications of Ministry of Education,
Beijing University of Post and Telecommunications, Beijing 100876)

Abstract

In order to efficiently allocate the radio resource in heterogeneous wireless, this paper proposes a new scheme for spectrum resource allocation in wireless networks based on combining the dynamic spectrum access (DSA) algorithm and the joint radio resource management (JRRM) algorithm. The scheme realizes the mutual compensation of the two algorithms, and introduces the game theory into the resource allocation decision and maximizes the profits of the gaming participants using the Shapley value model. Furthermore, the results of analysis and evaluation by simulation show that the scheme can improve the efficiency of radio resource utilization.

Key words: dynamic spectrum access (DSA), joint radio resource management (JRRM), combination, Shapley value