

基于资源再分配的无线虚拟网络映射算法

卜旭阳, 杨龙祥

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:针对具有 Online 特性的无线虚拟网络映射问题,文中提出了一种基于资源再分配的动态无线网络映射算法。该算法通过映射请求排序和资源空间再分配,来实现对于 VNR 的动态映射,其中资源空间的再分配是基于卡诺图的。该算法的主要目的在于尽可能大地增加底层资源的利用率,同时最大化底层资源提供商的收益。文中将静态映射算法与动态映射算法进行仿真比较,结果显示动态映射算法在映射拒绝率和收益方面均优于静态算法。同时,还比较了不同的参数,例如 VNR 的到达速率、持续时间等对于拒绝率和收益的影响。结果表明,到达速率与持续时间对拒绝率影响较大而对收益影响较小。

关键词:动态;资源再分配;卡诺图;拒绝率;收益

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)02-0039-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.02.009

A Wireless Network Virtualization Algorithm Based on Resource Reconfiguration Embedding

BU Xu-yang, YANG Long-xiang

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: A dynamic algorithm based on resource reconfiguration to solve the VNE problem with online feature was put forward. This algorithm realizes dynamic embedding through VNR sort and resource reconfiguration, and the reconfiguration is based on Karnaugh-map. The object of this algorithm is to maximize the utility rate of resource and revenue of InP. Compared dynamic algorithm with static algorithm, the simulation result shows that the dynamic algorithm performs better than static algorithm in both rejection rate and revenue. Meanwhile, compare and analyze how parameters, such as arriving rate and duration of VNR, influence rejection rate and revenue. The simulation result shows that arriving rate and duration influence more on reject rate than revenue.

Key words: dynamic; resource reconfiguration; Karnaugh-map; rejection rate; revenue

0 引言

随着现代通信与网络互联技术的飞速发展,无线网络已逐渐成为未来 Internet 的一种重要接入形式,而网络虚拟化是实现未来网络的关键技术之一。网络虚拟化使得多个异构网络能共享同一个底层物理网络。在网络虚拟化技术中,最核心的问题就是如何将虚拟网络映射到物理网络上,一般称之为 VNE (Virtual Network Embedding) 问题。VNE 问题需要同时处理虚拟节点映射和虚拟链路映射。由于资源约束、准入控制和拓扑多样等因素的影响, VNE 问题是 NP 难的。目前对于 VNE 算法已经存在一些研究,可将其分为三

类:动态/静态、分布式/集中式和冗余式/精简式^[1]。而算法的衡量标准则有服务质量、开销、收益等。

目前移动网络的发展越来越受移动网络流量的限制,但运营商从移动网络中可获得的收益却越来越大,因此新的技术也就呼之欲出。而无线虚拟网络映射,就是其中一种很好的方法。无线网络在现存网络的地位日益重要。无线网络虚拟化作为实现未来无线网络的重要技术,拥有很大的研究价值。无线网络与有线网络的主要区别在于无线资源的局限性和无线链路的广播性^[2],两个因素之间是相互联系的。一般避免干扰的方法是把无线资源(如频率、时间、空间等)进行正交划分,目前主要有 FDM、TDM、CDM 等方法。文

收稿日期:2015-05-07

修回日期:2015-08-11

网络出版时间:2016-01-26

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2013CB329104)

作者简介:卜旭阳(1991-),男,硕士,研究方向为移动通信与无线技术;杨龙祥,教授,博士生导师,研究方向为移动无线通信系统和物联网。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160126.1520.034.html>

献[3-4]采用了 TDM,文献[5]采用了 FDM,文献[6-7]采用了 CDM。

无线网络环境错综复杂,不同无线环境下的网络虚拟化研究也成为了研究者关注的重点,文献[8-9]是关于无线网格网中的虚拟映射,文献[10]是关于蜂窝网中的虚拟映射,而文献[11]则描述了无线多跳情况的虚拟映射,文献[12]研究了 WiMax 底层网络的虚拟化。

但是与有线网络的虚拟化相比,目前针对无线网络虚拟化的研究还较少。文中主要研究基于资源再分配的动态无线虚拟网络映射算法,核心思想在于对 VNR(Virtual Network Request)进行最优的资源再分配,其过程主要包括两步:

(1) 对于未映射的 VNR 按照规则进行排序;

(2) 采用卡诺映射算法对 VNR 及资源空间进行再分配。

该研究的主要目的在于尽量减小 VNR 的拒绝率并且最大化底层资源提供商(Infrastructure Provider, InP)的收益。

1 系统模型和问题定义

1.1 Online-VNE 系统模型

一般来说,VNR 的到达是具有 Online 特性的,其到达状况一般服从泊松分布。新到达的 VNR 先放入 VNR 队列,当某个时间窗结束时,VNR 队列中的 VNR 将会重新排序,该 VNR 队列含有两种 VNR:在最近的时间窗到达的 VNR 和之前被拒绝映射的 VNR^[13]。如果一个 VNR 在某个时间窗内未能被成功映射,那么该 VNR 将被推入 VNR 队列并且在下一个时间窗再次尝试映射。该过程不断循环,当某个 VNR 在规定时间内仍未被映射,就将该 VNR 从队列中删除。

对 VNR 队列进行排序有一定的规则,其目的在于尽可能多地获取收益。VNR 的优先级越高,单位资源空间收费就越高,收益也越高。而 VNR 所需资源区域越大,则从该 VNR 处可获得的收益也越大。

文中 VNR 的排序规则为:首先将 VNR 按照优先级进行排序,优先级高的靠前。优先级相同时,再按照其占用的资源区域大小进行排序,占用区域大的排在前面。在对 VNR 的排序完成后,下一步就是对 VNR 进行映射,在映射时,将使用基于卡诺图的动态映射算法进行资源再分配。

1.2 条件描述

在无线网络中,最重要的资源就是频域和时域资源。不妨以 F_R 和 T_R 分别代表正交的频道和时隙个数,每个 VNR 拥有四个要素:需要的频道数 F_j 和时隙数 T_j 、生命周期 C_j 、优先级 P_j 。

定义一个名为 L_{VN}^i 的可变长 VNR 队列,其中 i 表示第 i 个时间窗,队列表示为 $L_{VN}^i = \{N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, N_M\}$,队列的最大数量为 M 。每个 VN 需要的资源是大小为 $F_j \times T_j$ 的一块矩形区域,每个 VN 占用的资源区之间不能存在重叠。定义一个集合 $R_i = \{r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^j, \dots, r_i^K\}$ 来表示第 i 个时间窗 W_i 的映射结果,其中 $r_i^j = 1$ 表示映射成功, $r_i^j = 0$ 表示映射失败, K 表示 VNR 队列的实际长度。以 S_{used}^i 表示第 i 个时间窗 W_i 时底层资源的利用量。则:

$$S_{used}^i = \sum_{r_i^j=1} F_j \times T_j + S_{used}^{i-1} \quad (1)$$

其约束条件为:

$$j \leq M \quad (2)$$

$$\forall j, F_j \leq F_R, T_j \leq T_R \quad (3)$$

$$S_{used}^i \leq F_R \times T_R \quad (4)$$

$$\forall r_i^j = 1, r_i^k = 1, j \neq k, D_j \cap D_k = \emptyset \quad (5)$$

$$r_i^j \in \{0, 1\} \quad (6)$$

其中, S_{used}^{i-1} 表示时间窗 W_i 之前的资源占用情况; D_j 表示 N_j 所需的资源块。式(3)表示资源占用区大小不能超过总的资源区域大小;式(4)表示每个 N_j 分别所需的频域和时域资源不能超过 F_R 和 T_R ;式(5)表示每个 N_j 所需的资源块之间不能有重叠区域。

2 卡诺映射算法

在静态算法中,即使底层资源足够,VNR 也有可能被拒绝,其过程如图 1 所示。

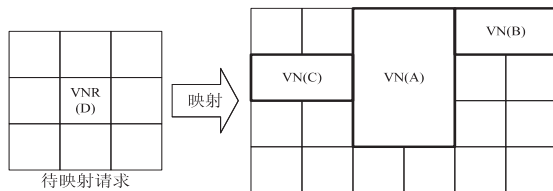


图 1 静态 VNE 算法示意图

在图 1 中,总资源空间大小为 6×4 ,在某个时刻分布着 A,B,C 三个 VN。请求 D 所需的资源空间为 3×3 ,可用的连续空间大小不足以映射 D,然而总的可用空间其实是足够的。但在静态算法中,系统无法对 VNR 和资源进行再分配,因请求 D 还是会被拒绝。

静态算法的这一特点将会导致资源的极大浪费。但在动态算法中,系统会对资源进行再分配,以获得尽量多的连续资源空间,其过程如图 2 所示。

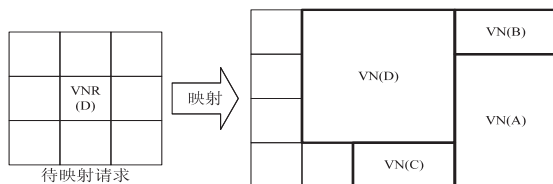


图 2 动态 VNE 算法示意图

资源再分配采用卡诺映射算法。这种算法是适用于动态情况的。该算法的核心思想是提高已用资源的集聚度以保证可用资源的连续性,以获得最大的连续可用空间。该算法将尝试映射尽可能多的 VNR。

对于每个 VNR 而言,卡诺映射算法将会在可用资源空间中找出与 VNR 需求相同或者更大的连续空间,这样的连续空间可能有多个,选取其中最小的一块空间。在这块空间中,系统使用映射密度指数(Embedding Destiny Index, EDI)来标记各个角落的资源集聚度。EDI 使用可用空间与已用空间之间边界的条数来衡量。因而,资源集聚度越高,则 EDI 指数越低。系统将 VN 映射到 EDI 最低的角落,以此提高资源集聚度,提高资源利用率。EDI 的具体定义如下所述。

使用 $a_{m,n} \in \{0,1\}$ 来表示单位资源使用情况, $a_{m,n} = 0$ 表示该块资源可用, $a_{m,n} = 1$ 表示该块资源已用^[14]。以 $e_{m,n}$ 来表示 EDI,则其计算方法如式(7):

$$e_{m,n} = (a_{m-1,n} \oplus a_{m,n}) + (a_{m+1,n} \oplus a_{m,n}) + (a_{m,n-1} \oplus a_{m,n}) + (a_{m,n+1} \oplus a_{m,n}) \quad (7)$$

那么某个包含多个单位资源块的区域 EDI 就为:

$$e = \sum_{a_{m,n}=1} e_{m,n} \quad (8)$$

接下来介绍卡诺映射算法的具体步骤:

(1) 对 VNR 队列 $L_{VN}^i = \{N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, N_M\}$ 排序。

(2) 对于 $N_j \in L_{VN}^i$, 找出所有与 $F_j \times T_j$ 相同或者更大的连续空间集合 A_j 。

(3) 如果 A_j 为空,那么首先判断 N_j 是否已经达到最大等待时间,如若达到则从 L_{VN}^T 中删去 N_j 。然后返回步骤 2,否则将 N_j 重新放回 VNR 队列中。然后回到 L_{VN}^i 处理下一个 VNR。

(4) 如果 A_j 不为空,则从集合 A_j 中找出最小区域 A_j^{\min} 。

(5) 以集合 $\text{Cor}(A_j^{\min})$ 来表示 A_j^{\min} 中所有的角落。

(6) 从 $\text{Cor}(A_j^{\min})$ 中选取 EDI 最小的一块作为映射地。

(7) 将 N_j 映射到选中的映射地。

(8) 之后 $j = j + 1$, 回到步骤 2。

3 仿真与分析

3.1 静态映射算法和动态映射算法的仿真与比较

衡量卡诺算法的首要指标就是收益。紧接收益的指标则是映射拒绝率。

文中以一个速率为 λ 的泊松过程来表示 Online-VNR 的到达,其中 λ 为每个时间窗内到达的 VNR 的平均个数。而每个 VNR 的持续时间则服从参数为 μ 的指数分布,即每个 VNR 在资源中停留的平均时间为

μ 个时间窗。图 3 和图 4 中取 $\lambda = 4, \mu = 10$ 。优先级服从 $U(1,3)$ 的均匀分布,单位资源块的收益 p_j 与使用该资源的 VNR 的优先级有关,高优先级收益为 5,中优先级为 3,低优先级为 1。每个 VNR 所需的资源个数在频域和时域上都服从 $U(2,4)$ 的均匀分布。整个资源区域内频道数 $F_R = 15$,时隙数 $T_R = 15$ 。

定义某个时间窗 W_i 拒绝率 Re_i 为:

$$\text{Re}_i = \text{VNR}_i^{\text{rejected}} / \text{VNR}_i^{\text{total}} \quad (9)$$

单位资源在单位时间窗内获得的平均收益 P_i 为:

$$P_i = \sum_{r_i=1} p_j / F_R \times T_R \quad (10)$$

其中, $r_i = 1$ 表示在时间窗 W_i 内该块资源被使用。

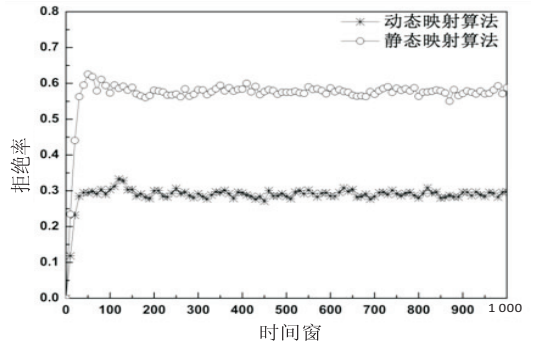


图3 静态与动态映射算法的拒绝率

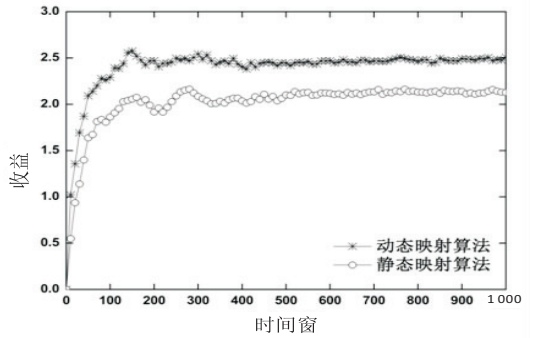


图4 静态与动态映射算法的收益

从图 3 和图 4 中可以看出,动态算法的拒绝率明显低于静态算法,在开始阶段,整个拒绝率波动较大,但随着时间的推移,整个拒绝率会趋向稳定,这与 VNR 队列的相对稳定有关。动态拒绝率较静态拒绝率低约 50% 左右,收益则较静态算法高出 23% 左右。总体来说,在系统趋于平稳的过程中,拒绝率降低明显,而 InP 的增收则相对较小。

3.2 动态映射算法在不同参数下的拒绝率与收益

仿真参数不同时,动态算法的拒绝率和收益是不同的,如当到达速率加快时,显然拒绝率是会上升。图 5 显示了到达率和持续时间对于拒绝率的影响。

从图 5 中可以看出,到达速率越快,则拒绝率越高。每个 VN 持续时间越长,则拒绝率也会越高,当 $\mu = 10$ 时, $\lambda = 4$ 的拒绝率较 $\lambda = 10$ 降低了 45% 左右; $\lambda = 4$ 时, $\mu = 10$ 较 $\mu = 50$ 的拒绝率降低了 62% 左右。一般

来说,到达速率和持续时间是难以准确估计的,但是服务提供商可以根据不同网络的特征进行大致的估算。

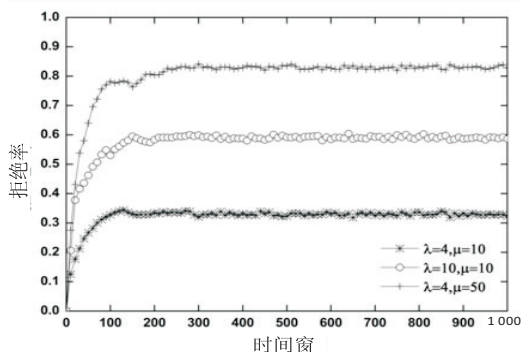


图 5 不同参数情况下动态算法的拒绝率

从图 4 和图 6 的比较中可以看出,到达速率和持续时间对于收益的影响相对较小,这是因为 VNR 的优先级和请求的资源区域大小服从均匀分布,当经过较长的时间后,VNR 队列中的请求、拒绝率以及整个资源区域的分配情况就相对稳定,那么收益的差异也就相对较小。但是如果参数相差太大,也会产生比较显著的差异。

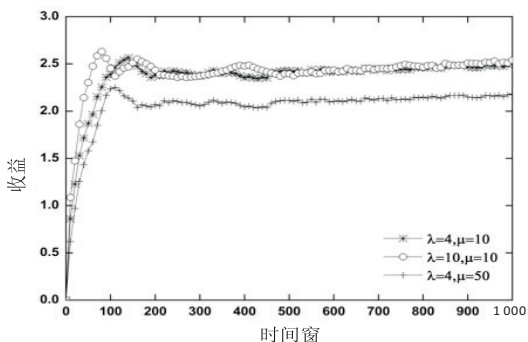


图 6 不同参数情况下动态算法的收益

4 结束语

文中采用了 Online-VNE 模型,主要讨论了基于卡诺图的动态无线虚拟网络映射的算法。该算法主要着力于研究时域和频域资源的再分配问题。通过对 VNR 的排序和动态的资源再分配,VNE 的拒绝率相对静态算法将会大幅度下降,而 InP 的收益也将有所提升。文中还探讨了不同参数对于动态算法的拒绝率和收益的影响程度,得出 VNR 的到达速率和持续时间与拒绝率呈正相关,且相关程度大,而对收益影响较小的结论。该算法要求服务商要对收益和大请求有着精确的预测,收益与计算优先级所需的开销有关,优先级上的开销影响着该优先级上 VNR 的接受数量。

未来的研究将主要探讨如何使得该算法真正实用于无线网络中。另外,目前对于链路虚拟化的研究还相对较少,并且相对有限,未来在链路虚拟化研究方面还大有文章可做。

参考文献:

- [1] Fischer A, Botero J F, Till B M, et al. Virtual network embedding: a survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(4): 1888-1906.
- [2] Chowdhury M, Rahman M R, Boutaba R. ViNEYard: virtual network embedding algorithms with coordinated node and link mapping [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012, 20(1): 206-219.
- [3] Smith G, Chaturvedi A, Mishra A, et al. Wireless virtualization on commodity 802.11 hardware [C]//Proc of second ACM international workshop on wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization. [s. l.]: ACM, 2007: 75-82.
- [4] Perez S, Cabero J M, Miguel E. Virtualization of the wireless medium: a simulation-based study [C]//Proc of vehicular technology conference. Barcelona: IEEE, 2009: 1-5.
- [5] Singhal S, Hadjichristofi G, Seskar I, et al. Evaluation of UML based wireless network virtualization [C]//Proc of NGI. [s. l.]: [s. n.], 2008: 223-230.
- [6] Jayasumana A P, Han Q, Illangasekare T H. Virtual sensor networks - a resource efficient approach for concurrent applications [C]//Proc of international conference on information technology. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007: 111-115.
- [7] Mahindra R, Bhanage G, Hadjichristofi G, et al. Space versus time separation for wireless virtualization on an indoor grid [C]//Proc of NGI. [s. l.]: [s. n.], 2008: 215-222.
- [8] Bhanage G D, Zhang Yanyong, Raychaudhuri D. Virtual wireless network mapping: an approach to housing MVNOs on wireless meshes [C]//Proc of PIMRC. [s. l.]: IEEE, 2011: 187-191.
- [9] Stasi G D, Avallone S, Canonico R. Virtual network embedding in wireless mesh networks through reconfiguration of channels [C]//Proc of 2013 IEEE 9th international conference on wireless and mobile computing, networking and communications. [s. l.]: IEEE, 2013: 537-544.
- [10] Kokku R, Mahindra R, Zhang H, et al. NVS: a substrate for virtualizing wireless resources in cellular networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012, 20(5): 1333-1346.
- [11] Yun D, Yi Y. Virtual network embedding in wireless multihop networks [C]//Proceedings of the 6th international conference on future internet technologies. [s. l.]: ACM, 2011: 30-33.
- [12] Kokku R, Mahindra R, Zhang H, et al. NVS: a virtualization substrate for WiMAX networks [C]//Proc of 16th annual conference on mobile computing and networking united states: association for computing machinery. Chicago, IL, USA: [s. n.], 2010: 233-244.
- [13] 罗娟, 刘川川, 李仁发. 基于链路可靠性的无线虚拟网络分配方法 [J]. 通信学报, 2012, 33(S1): 88-95.
- [14] Yang M, Li Y, Zeng L, et al. Karnaugh-map like online embedding algorithm of wireless virtualization [C]//Proc of WPMC. [s. l.]: IEEE, 2012: 594-598.

基于资源再分配的无线虚拟网络映射算法

作者：[卜旭阳](#)，[杨龙祥](#)，[BU Xu-yang](#)，[YANG Long-xiang](#)
作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院](#)，江苏 南京，210003
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：
年，卷(期)：2016 (2)

引用本文格式：[卜旭阳](#)，[杨龙祥](#)，[BU Xu-yang](#)，[YANG Long-xiang](#) [基于资源再分配的无线虚拟网络映射算法](#) [期刊论文]
]-[计算机技术与发展](#) 2016 (2)