

蜂窝网中基于分布式约束满足算法的改进信道分配

韦沙 刘威 陈小慧 程文青

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘要 随着蜂窝网业务需求的不断增长,如何利用有限的信道资源在各小区间进行复用,以便既能避免移动用户之间的干扰,又能满足所有移动用户的话务请求,使蜂窝系统容量大大增加,已成为一项重要研究课题。此类问题属于 NP-hard 的信道分配问题(Channel Assignment Problem, CAP),将 CAP 问题形式化为分布式约束满足问题(DCSP),然后提出基于改进现有的信道分配策略,以获得更高的信道利用率、较令人满意的系统服务质量,尽可能满足所有用户的话务请求。将利用尽可能简单、搜寻时间短的算法,并将现有的 benchmark 问题进行仿真。实验表明,该方案对有效改进信道分配问题,充分利用有限的信道资源,降低系统的阻塞率,有着较好的应用前景。

关键词 信道资源,复用,系统容量,信道分配,DCSP

中图分类号 TN911.7 文献标识码 A

Distributed Constraint Satisfaction of an Improved Channel Assignment Approach in Cellular Network

KIM Visale LIU Wei CHEN Xiao-hui CHENG Wen-qing

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract As demands grow for wireless communication systems and the limited number of channel resources, the channel assignment problem(CAP) becomes increasingly important. The goal of channel assignment is to reduce the interferences, and enhance the capacity. CAP is a well-known NP-hard problem. In this paper, we modeled CAP as a Distributed Constraint Satisfaction Problem(DSCP) with fully considerations on all constraints of interferences, then proposed an improve channel assignment approach to minimized more required number of channels in cellular mobile system and minimize the number of blocked hosts. We also provided one kind of complete search algorithms, which outperforms others by providing quasi-optimal solutions at a related lower cost and time. We evaluated the performance of our approach in solving CAP, which is based on the existing benchmark. The simulation result shows that our approach provides optimal solutions and minimizes call failures, which is more feasible and easy to be applied in practical engineering.

Keywords Channel resource, Reuse, System capacity, CAP, DCSP

1 引言

随着人们对移动通信业务需求的日益增长,频率资源紧缺的矛盾日渐突出。如何更有效地利用有限频谱资源,是目前各国学者研究的一项重要课题。信道分配技术^[1]作为提高系统频谱资源利用率的一种有效措施,得到了十分广泛深入的研究,至今仍热度不减。

所谓信道分配问题(Channel Assignment Problem, CAP),实际上就是将尽可能少的信道量分配给各小区,同时要求既能满足话务需求量,又能保证通话高质量。因此,为了保障用户通话获得高质量,信道分配方案需要消除 3 种干扰,即无同频干扰、邻频干扰和同位置干扰^[1]。

信道分配问题在任何一个具体话务量情况下的求解都可以描述为一个 NP 问题。求解 CAP 问题,可广泛应用遗传算法^[1,2]、神经网络技术^[3]、模拟退火技术^[4]、禁忌搜索算法^[5]以及分布式约束满足算法(DCSP)^[6,7]等。在这类算法中,DCSP 具有较少的运算开销,并以分布方式快速求解,便于工

程上应用等优点。

文献[6]把 CAP 问题形式化为图染色问题(图染色问题是分布式约束满足问题之一),但没有考虑基站间的同频干扰约束,而在大规模网络中,此类干扰将造成严重的后果。文献[7]对上述工作进行了补充,即在保证通话质量的同时,有效地以最少信道量来满足各小区更多话务量。虽然如此,但从整体网络来看,前者的工作目标是尽可能地满足某时刻、某小区需要的信道量,而不是从系统整体服务性能出发。在蜂窝网络中,某小区、某时刻需要多少信道就实际提供多少信道才是最好的。同时,用户是属于移动状态,常常不是统计独立的,而是在某个特定的时间集中到特定的地点,例如上、下班时间等。因此,要应付这种类型的突发话务量,上述方案效率低,并在热点区域将导致严重堵塞呼叫请求。

本文将进一步改进文献[7]的工作,提出更有效的方案,以便在保障蜂窝网稳定性、系统的业务携带容量也随之得到提高的同时,蜂窝移动通信系统的平均阻塞率逐步降低。

本文第 2 节介绍信道分配相关工作,然后介绍 DCSP 形

到稿日期:2011-07-01 返修日期:2011-09-30

韦沙(1982-),男,博士,主要研究方向为通信与信息系统,E-mail:smart_visale@yahoo.com;刘威男,博士,副教授,主要研究方向为多媒体信息处理与多媒体通信;程文青女,博士,教授,主要研究方向为现代网络通信技术。

式化以及其相关工作;第3节描述所改进的信道分配策略;第4节给出试验结果;最后总结全文。

2 相关工作

2.1 蜂窝网中的信道分配方案

信道分配方案主要有两大类^[4]:静态信道分配,其简单、便于实现但呼阻率较高;动态信道分配,其只有当业务量小时才有较低的呼阻率。

CAP问题属于组合优化中的NP完备问题。许多研究者对此类问题纷纷提出各不相同的启发式求解,如神经网络技术^[3]、模拟退火技术^[4]等。但是,各种启发式方法都存在缺点,如神经网络容易陷入局部最优解,并且解集的变化依赖于初始值;模拟退火虽然能够得到最优解,但该算法复杂、收敛速度慢。

文献[7]试用另一种分布式约束满足算法来解决蜂窝网的信道分配问题。首先把CAP问题形式化为分布式约束满足问题,并将3种干扰作为其约束条件;然后用分布式回溯算法进行求解。虽然实验表明该方案能够以最小的信道量来满足更多的话务量,但由于该方案属于静态分配,因此其只能满足某时刻分配。

文献[8]提出基于遗传算法的故障容忍(Fault-Tolerant)信道分配方案。其基本思想是当某个小区在无空闲信道的情况下,也能满足用户的请求。该方案涉及到3种技术,即信道复用技术、为切换所预留信道的技术以及借用信道技术。虽然该方案时时刻刻都能满足用户的请求,即能够降低用户请求阻塞率和切换失败率,但遗传算法往往会导致种群多样性过早流失,从而使得算法陷入局部最优解,引起过早收敛。

本文将结合文献[7]与文献[8]的优点,提出在蜂窝网中改进信道分配,以最小的信道量满足所有移动用户时时刻刻的话务请求,并保障通话高质量。

2.2 基于分布式约束满足算法

人工智能领域中的许多组合问题都可以用约束满足问题(Constraint Satisfaction Problem, CSP)进行建模^[9]。求解CSP的方法就是要发现一组或全部对所有变量的赋值,使所有的约束都得以满足。分布式人工智能中的应用对CSP提出了新的要求,同时利用多Agent合作对CSP进行求解也成为一种新的思路。在分布式环境下的CSP称为分布式约束满足问题(Distributed Constraint Satisfaction Problem, DCSP)。在分布式环境中,CSP中的变量被分布在多个Agent中。当分布在各个Agent中的所有变量的赋值满足所有约束时,则该赋值即为DCSP的一个解。

DCSP非常适合解决在分布式环境下的任务分配和资源分配问题。因此,DCSP的研究成为分布式人工智能领域的基础性工作,成为许多合作求解问题的重要和有用的抽象。

文献[6,7]就利用DCSP算法的特点在蜂窝网中分配信道资源,并以最快、低开销、最少信道资源满足更多的话务量。

3 基于改进的信道分配策略

3.1 信道复用策略

假设蜂窝系统由 N 个小区组成。首先将信道按各小区的初始需求量 m_i 进行分配。对小区制而言,应避免3种相互干扰:同频、邻频和同位置干扰。因此,将此类干扰作为DC-

SP的约束条件。

根据DCSP^[9]的建模形式,CAP问题被形式化成如下DCSP:

• Agent: $A = \{Cell_1, Cell_2, \dots, Cell_N\}$,其中 $Cell_N$ 表示第 N 小区;

• 变量: $V = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$;

• 值域: $D = \{\text{可用信道}\}$;

• 约束条件:(1)Agent内,信道间的间隔为 n ;(2)Agent间,复用小区间的距离为 L 。

3.2 信道借用与锁定策略

当上述策略对各小区进行一次性分配信道后,由于用户会流动,导致原来的分配不平衡,造成某些小区具有更多的空闲信道(或称冷区),而某些小区因用户过多(或称热区)导致堵塞。因此,本文提出信道借用与锁定策略来解决呼叫阻塞率问题。

在蜂窝网络中,任何一个小区都具有6个邻区,分别标记为1-6,如图1所示。将其邻区的空闲信道状况从大到小排序后,存到NFC(Neighbor Free Channel List)表中。图1中,假设基站0号暂时无空闲响应请求,其余小区有部分空闲信道可用。

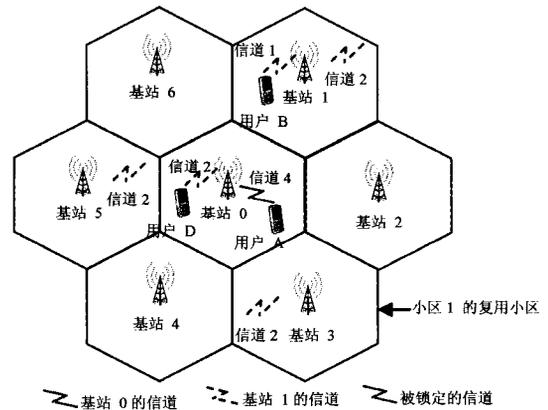


图1 复用小区间隔为一个小区的借用与锁定信道原理

为了进一步提高容量,本文方案将允许信道的借用突破上述信道组的界限。当小区0的信道全部被占用时,可以从NFC表中继续使用下一个优先级信道,只要信道质量满足门限要求即可。

本方案的信道分配策略如下:

第一步 当呼叫到来时,首先在该小区的固定信道中选出空闲信道,将其分配给该呼叫。

第二步 假如该小区的所有信道均已被占用,则从NFC表中选择空闲信道最多的邻区借用信道,并判断该信道 C/I (载干比)是否大于门限 α 要求。

第三步 若不是,则证明该信道被其复用小区占用,寻找下一个优先级的信道,直至遍历全部邻区为止。如果最终未找到,则宣布拒绝请求。

第四步 若其载干比大于门限,则表明该信道可以在该小区使用。因此借用此信道分配给该小区的呼叫,并将在对应的复用小区锁定此信道,避免干扰发生。如图1中的信道2号被锁定,即不能在原小区1、3和5使用。

第五步 当该通话结束后,立即归还该信道并解锁对应的复用小区信道,并且更新NFC表。如图1所示,当小区0

释放信道 2 后,原小区 1、3 和 5 可以用信道 2 响应给小区内的用户请求。

因此, DSCP 可供借用的约束条件是 $\frac{C}{I} \geq \alpha$ 。

3.3 DCSP 算法

回溯算法^[10]是求解 DSCP 问题的一种完整搜索算法,它是一种满足一定约束条件的优选搜索法,其搜索通过一个多阶段的确定过程来实现。在每一阶段都需要从一些选择中选择一个分支,一旦发现前面的选择不可能获得一个解,则算法进行回溯,即重新回到刚搜索过的选择点,并选择该结点另一个没有被试过的分支。如此反复,直至得到解或证明无解。

因此,已形式化为 DSCP 的 CAP 问题利用回溯算法求解,其算法实现如图 2 所示。

```

-----第一次分配-----
// Assign channels to each cell based on the initial demand.
1. MakeOrder(m) //根据各小区的初始化需求量开始排序
2. for i=1:N do
3.   GetValue(ch) //取值
4.   if CIR>α then //信道是否可复用
5.     Assign(ch) //开始分配
6.   else
7.     BackTracking() //执行回溯算法
8.   end if
9. end for
-----某时刻发生呼叫请求-----
10. while request do //当有用户请求
11.   if free_channel>0 then //该小区是否有空闲信道
12.     AssCh(chi) //分配信道给用户请求
13.   else
14.     Borrow(NFC); //从邻区借用信道
15.     if C/I>α //该信道在本小区是否会被干扰
16.       AssCh(chi)
17.       Lock(chi) //对应复用小区锁定该信道
18.     else
19.       BackTracking()
20.     end if
21.   end if
22. end do

```

图 2 CAP 所用的回溯算法

4 性能分析

仿真系统仍沿用文献[7]的业务模型,即该蜂窝网由 21 个小区组成,各小区的覆盖半径为 R (单位:km),且其排列如图 3 所示。图 3 中的数字分别表示所在小区中的用户初始需求量。在此仿真环境下,将对所提出的改进策略与文献[7]的方案进行对比实验,其结果如图 4 所示。

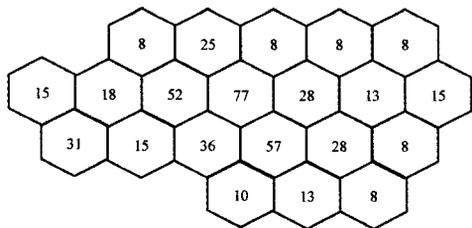


图 3 各小区的初始需求量

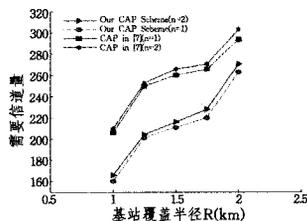


图 4 本文方案与文献[7]相比

从图 4 中不难看出,文献[7]的方案在覆盖半径 R 最短为 1km 和最长 2km 时,要满足上述蜂窝系统的需求量,总共分别需要 206 个和 294 个信道($n=1$)。而改进方案在相同的情况下,分别只需要 160 个和 263 个信道,降低了约 20% 的信道资源。因此,证明我们的改进方案存在价值,并更有效地解决了蜂窝网的信道资源缺乏问题。除此之外,图 4 还反映出一个情况:当覆盖范围小时,所需的信道数反而越少。这是因为其基站间的干扰度变小,会缩短基站覆盖范围,导致部分用户无信号。当覆盖范围加大(重合覆盖)时,虽然为了避免干扰而消耗了更多的信道资源,但使信号无处不在,扩大了系统容量。虽然如此,在设计蜂窝网系统时,应从经济与资源的角度出发,以考虑现实情况为准。

接下来的工作是证明本文方案能够减少呼叫阻塞率,提高系统吞吐量。下面将与 Fault-Tolerant Channel Allocation (FTCA)^[8]进行比较。FTCA 以遗传算法作为其核心的算法,而本文的信道分配利用 DCSP 算法。为了便于比较,先建造与文献[8]相同的实验仿真环境,即该蜂窝网系统由 36 个小区组成,并有 300 个信道提供请求。呼叫到达的业务每小时有 1000 到 1800 Erlang,如图 5 所示。可见,虽然本方案与 FTCA 的结果很接近,但是从算法的复杂度和收敛性的角度来看,本方案占有很大的优势。

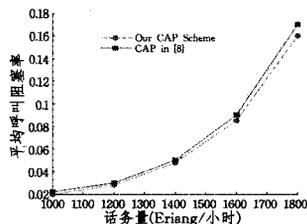


图 5 本文方案与文献[8]的平均呼叫阻塞率

结合图 4 和图 5,足够证明本方案确实能够改进蜂窝网中的信道分配问题,并且 DCSP 算法是一种更有效、快速、低开销的算法,能解决多约束条件下合理分配有限资源的问题。

结束语 本文提出了一种基于分布式约束满足算法的改进信道分配策略。与近几年文献中提出的一些相关的信道分配策略相比,本方案具有很大的改进,其充分利用了有限的信道资源,使系统的阻塞率低于前者。DCSP 算法运算开销低,能够快速获得蜂窝网的最优解,是一种解决信道分配问题的有效途径。此外,DCSP 算法可扩展性强,便于开发系统化的蜂窝网规划软件。

参考文献

[1] Lima M A C, Araujo A F R, Cesar A C. Adaptive Genetic Algorithms for Dynamic Channel Assignment in Mobile Cellular Communication Systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(5): 2685-2696

态,系统状态改变次数分别是 1,4,2,1,1,0,1。

图 6 是在综合分析了文献[2,4]的思想后提出来的简明控制流信息表示图,其状态数目比图 4 中的状态数目少,比图 5 中的状态数目多,在每个状态,系统状态被改变的粒度为 0 或 1。

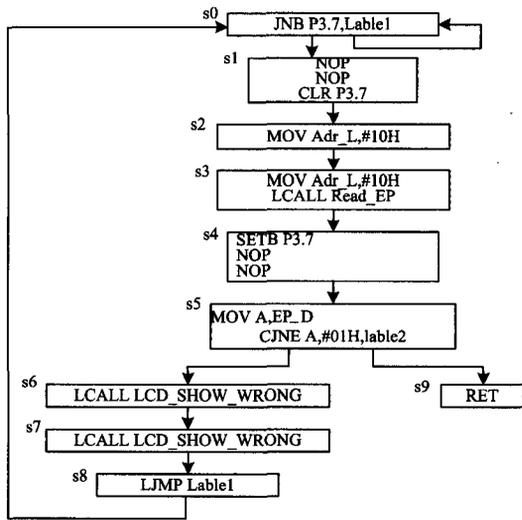


图 6 控制流图 3

表 3 分析结果比较

方法	描述能力	刻画粒度	状态数目
简明控制流信息表示法	强	{0,1}	较少
文献[2]方法	强	{0,1}	多
文献[4]方法	强	≥ 0	少

将简明控制流信息表示方法与文献[2,4]所提出的方法做了比较分析,主要在控制流信息描述能力、系统状态刻画粒度、生成克里普克结构后的状态数目等 3 个方面做比较。分析结果如表 3 所列。分析结论表明,采用简明控制流信息表

示法生成的克里普克结构具有控制流信息描述能力强、对系统变化情况的刻画粒度精确、状态数目较少的特点,其适用于模型检验技术。

结束语 本文针对如何从二进制程序自动生成克里普克结构以便于模型检验器进行推理验证的问题,提出了简明控制流信息表示法,其可以有效地表示控制流信息,也可以实时地表征系统状态的变化。下一步的工作重点是用时态逻辑语言形式化描述各种病毒、木马的恶意行为,然后与克里普克结构一起送入模型检验器进行检验分析。

参考文献

- [1] Huth M, Ryan M. Logic in Computer Science[M]. 何伟,樊磊,译.北京:机械工业出版社,2007:115-168
- [2] Kinder J, Katzenbeisser S. Proactive Detection of Computer Worms Using Model Checking[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2009
- [3] Singh P K, Lakhota A. Static Verification of Worm and Virus Behavior in Binary Executables using Model Checking [C] // Workshop on Information Assurance, United States Military Academy West Point, NY, June 2003
- [4] 胡刚. 固件程序代码逆向分析关键技术研究[D]. 郑州:郑州信息工程学院,2010
- [5] Clarke E, Emerson E. Design and synthesis of synchronization skeletons using branching time temporal logic[J]. Logics of Programs, ser. LNCS, Springer, 1981, 131:52-71
- [6] 曾红卫, 缪准扣. 模型检验在构件数据流测试中的应用[J]. 计算机科学与探索, 2110, 4(12):1122-1130
- [7] Ilfak Guifanov. IDA Pro disassemble[EB/OL]. <http://www.datarescue.com/index.htm>

(上接第 83 页)

- [2] Pinagapany S, Kulkarni A V. Solving channel allocation problem in cellular radio networks using genetic algorithm[C] // International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops, Jan. 2008:239-244
- [3] Jie H L, Chiu C T, Tzung P H. A maximum channel reuse scheme with Hopfield Neural Network based static cellular radio channel allocation systems[C] // IEEE International Joint Conference on Neural Networks. June 2008:3660-3667
- [4] Jiayuan C, Olafsson S, Xu Gu. Observations on Using Simulated Annealing for Dynamic Channel Allocation in 802.11 WLANs [C] // International Conference on Vehicular Technology. May 2008:1801-1805
- [5] Gozukep D, Genc G, Ersoy C. Channel assignment problem in cellular networks; A reactive tabu search approach[C] // International Symposium on Computer and Information Sciences (IS-CIS 2009). Sept 2009:298-303
- [6] San R C, Gigi E, Lyandres V. Channel assignment for cellular

- mobile networks with nonuniform cells; an improved heuristic algorithm[J]. IEEE Proceedings of Communications, 2006, 153 (1/2):61-68
- [7] Kim V, Liu Wei, Cheng Wen-qing. Channel Assignment Problem in Cellular Mobile Network; A Distributed Constraint Satisfaction Approach [C] // International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC). 2010:132-137
- [8] Khanbary L M O, Vidyarthi D P. A GA-based Effective Fault-tolerant Model for Channel Allocation in Mobile Computing[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57 (3): 1823-1833
- [9] Yokoo M, Hirayama K. Algorithms for Distributed Constraint Satisfaction: A Review[J]. International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2000, 2(2):185-207
- [10] Yan J, Jian Z. Backtracking Algorithms and Search Heuristics to Generate Test Suites for Combinatorial Testing [C] // International Conference on Computer Software and Applications. 2006, 1:385-394