

异构无线网络域内动态资源优化管理研究

张媛媛¹ 王 坚¹ 肖创柏²

(中央财经大学信息学院 北京 100081)¹ (北京工业大学计算机学院 北京 100022)²

摘 要 针对异构无线网络中域内资源管理优化方案进行了研究,提出了部分可观察马尔科夫调制泊松过程的业务模型对异构无线网络单一域内突发性事件——溢出呼叫进行了分析,提出了针对异构无线网络结构特点和实际业务需求的优化接纳控制模型。建立了最小化网络能耗的优化目标,综合考虑网络状态和拒绝呼叫产生的网络开销,构建了优化决策模型,获得的优化策略能平衡溢出呼叫引起的网络开销和业务服务质量需求之间的矛盾,进一步推导和验证了业务服务请求到达网络的到达率、呼叫连接时间和呼叫逗留时间之间的关系,采用部分可观察马尔科夫调制泊松过程进行性能分析,根据获得的性能参数进行接纳控制决策,验证了异构无线网络域内优化管理模型的合理性和适用性。与资源完全共享算法相比,所提模型降低了网络能耗,在优化策略适应网络状态变化的同时,保证了业务的服务质量需求。

关键词 异构无线网络,资源管理,服务质量

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Optimal and Dynamic Resource Management Scheme for Inter-domain Heterogeneous Wireless Networks

ZHANG Yuan-yuan¹ WANG Jian¹ XIAO Chuang-bai²

(College of Information, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)¹

(College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)²

Abstract In order to solve the issue that existing model can not combine breakoff and integrity very well, a partially observable markov-modulated poisson process (PO-MMPP) traffic model was proposed. This model captures the burstiness of the overflow traffic under the imperfect observability of the network states. The optimal objective is the minimum network cost. It shows that the optimal control policy can balance the network cost and traffic QoS requirement. By derivation and confirmation, we induced the relations in call arrival rate and transition rates. Simulation results indicate that the proposed model provides better performance compared with complete sharing algorithm, in terms of minimizing the network cost, new call blocking and handoff call dropping probabilities. The network cost is reduced. The optimal control policy can be adaptive with network state and QoS requirement.

Keywords Heterogeneous wireless networks, Resource management, Quality of service

1 引言

未来高速宽带通信仅靠一种无线通信技术或者一种组网方式将无法满足不同用户随时随地高质量地获取最佳连接(Always Best Connected, ABC)的无线服务需求,因此,异构网络融合的概念应运而生。其发展更多依赖于提供给终端用户的服务质量(Quality of Service, QoS),以及其对应应用和服务的满意度。针对异构网络融合环境,无线资源管理(Radio Resource Management, RRM)技术包括了资源分配、调度和接纳控制,面临的挑战主要是保证业务服务质量需求的同时有效利用资源。呼叫接纳控制(Call Admission Control, CAC)技术是 RRM 的核心问题。CAC 的优化目标是保证有限的无线资源达到高效利用的同时,尽可能地接纳新用户的接入请求,保证接入的用户服务质量需求,降低阻塞率。

首先,无线网络中,针对多媒体业务有不同的服务质量需

求,对其接纳控制进行了广泛的研究。根据用户服务质量需求量化不同优先级来区分多业务,使用多阈值来控制其接入^[1-3]。文献[4]根据多门限预留机制的自适应带宽分配算法,为多业务提供服务质量保证。将自适应带宽分配问题转化为动态优化问题,实现网络实时吞吐量最大化。文献[5]从排队论角度,将异构无线融合网络定义成不同对偶和并行的排队系统,选择不同概率来反映 QoS,将网络表现量化成多路增益,通过启发式算法降低平均延时。

此外,本文的研究也符合未来绿色环保通信的需求,因此效用是可以用于度量服务满意度的有效方法,同时也可以帮助用户在面临多种选择时做出决策。在资源管理方面,基于效用的研究方法有很多,同时其已应用在准入控制、负载均衡、数据包调度等方面^[6-10]。文献[11]提出基于 QoS 需求动态带宽分配算法,通过有效利用资源最大化系统容量,兼顾了效用和公平。文献[12]针对多用户 OFDMA 移动通信下行

本文受北京市自然科学基金项目(4162007),国家自然科学基金项目(61501008),北京市社会科学基金项目(15JGB098)资助。

张媛媛(1982—),女,博士,工程师,主要研究方向为下一代无线网络、网络性能分析等,E-mail:recona@126.com;王 坚(1975—),男,博士,讲师,主要研究方向为信号处理等;肖创柏(1962—),男,博士,教授,主要研究方向为信号与信息处理、模式识别与智能系统等。

系统,提出了基于能效优化的用户调度和资源分配算法,以最大化系统能效为准则建立优化模型。在线性约束下的优化目标无法动态自适应网络结构的变化。文献[13]提出了基于能效优先的异构无线网络资源分配算法,在信道信息不明确的情况下提出博弈论机制。文献[14]提出了基于频谱复用和功率控制的方法,达到网络资源和用户满意度的均衡,以最大化系统长期吞吐量为目标,采用拉格朗日对偶方法对问题求解。文献[15]针对异构无线网络负载均衡问题,提出一种联合功率和带宽分配的支持 QoS 算法,最大化系统容量,将延时和公平性设定为限制条件。

最后是实际系统设计相应的接纳控制有效策略。针对 WiMAX、WLAN 和 WMN 网络中的多媒体业务,提出接纳控制策略^[16-18]。文献[19]提出基于行业务的接纳控制策略的实现。使用启发式优化算法计算工作时间,完成网络用户分配。文献[20]提出 WiMAX 网络实时业务流的资源管理,提出用自适应的呼叫接入控制解决系统容量和 QoS 之间的制约问题。

上述研究存在以下缺陷:

(1)资源管理优化目标集中反映在服务需求的量化方面,缺乏对网络系统整体性能参数的反映,导致优化目标是局部的、单一的,不具有全局观。

(2)异构无线网络环境是动态变化的,不能自适应网络状态变化将导致在以多媒体业务为主的异构无线网络中,接纳控制不能有效进行。

(3)异构无线网络域内溢出呼叫具有突发性和随机性,使得构建有效的、准确的业务模型变得更加复杂和困难,同时也给在异构无线网络环境下的保障业务服务质量带来挑战;采用的模型与实际状况不一致,也将导致后续的网络性能分析无法进行。

本文对异构无线网络中域内资源管理优化方案进行了研究,根据异构无线网络结构特点和实际业务需求,分析了异构无线网络单一域内突发性事件,建立了优化接纳控制模型。以最小化网络能耗为优化目标,综合考虑网络状态和拒绝呼叫产生的网络开销,构建了优化决策模型,获得的优化策略能解决溢出呼叫引起的网络开销和业务服务质量需求之间的矛盾;推导并验证了业务服务请求到达网络的到达率、呼叫连接时间和呼叫逗留时间之间的关系;采用部分可观察马尔科夫调制泊松过程进行性能分析,根据获得的性能参数进行接纳控制决策,验证了异构无线网络域内资源优化管理模型的合理性和适用性。与资源完全共享算法相比,网络能耗降低了 30%,优化策略自适应网络状态变化的同时,保证了业务的服务质量需求。

本文主要贡献有以下 3 点:

(1)接纳控制优化目标是全局的,不仅反映了业务服务质量需求,还反映了网络状态的变化。

(2)该算法能为域内呼叫业务推导出有效的接纳控制策略,自适应地决策控制,获得最小的系统开销。

(3)采用部分可观察马尔科夫调制泊松过程的业务模型,对溢出呼叫进行建模分析,获得随机、突发性事件模型,为后续网络性能分析推导出重要的性能参数,从而保证业务的服务质量。

2 系统模型

2.1 异构无线网络模型

根据网络覆盖范围划分两层异构无线网络结构,包括广

域覆盖网络(Overlay Network)和局域覆盖网络(Underlay Network),其中 Underlay 网络包含多个无线接入点(Access Point, AP)。图 1 为仿真网络实验场景呼叫业务示意图。

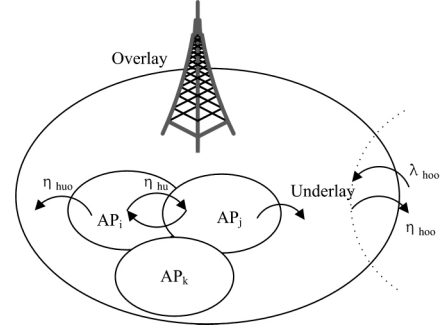


图 1 异构无线网络呼叫示意图

假设网络中新呼叫请求服从无记忆性的泊松分布,在 Overlay 和 Underlay 中呼叫保持时间服从 μ_o, μ_u 的离散分布。 η_{hu} 代表接入点 i 切换到接入点 j 的呼叫逗留时间,服从无记忆性的离散分布。 Φ 代表切换呼叫发生比率,用 0 代表 Overlay 网络,用式(1)表示为:

$$\eta_{hu}^{i,j} = \varphi(i, j) \eta_h^i, \eta_{hu}^{i,0} = \varphi(i, 0) \eta_h^i \quad (1)$$

每个 Underlay 网络包含多个接入点,如果针对 Underlay 网络实行集中式接纳控制将带来网络业务负载的增加,不利于实际操作。因此,本文提出对建立在 Overlay 网络中的控制单元进行呼叫接纳决策。控制单元的决策信息主要来自 Overlay 的网络状态和 Underlay 部分可观察的网络状态。Underlay 部分可观察的网络状态主要是发生掉线和阻塞后,溢出到 Overlay 网络的呼叫。本文针对 Overlay 网络域内业务提出一种方便的、可控的接纳控制机制。

溢出呼叫具有突发性和随机性,其性质不能再以简单的泊松分布进行假设分析。以下事件可以产生溢出呼叫:当新呼叫请求到达双覆盖区域(Double Coverage area, DBCA),首先寻求 Underlay 网络接纳,如果不能被接纳将溢出到 Overlay 网络;当切换呼叫请求,从 Underlay 网络某个接入点到达单覆盖区域(SCA, Single Coverage area),Underlay 网络接入点不能接纳时,溢出到 Overlay 网络。

2.2 系统优化目标和策略

根据马尔科夫决策过程定义,优化策略映射了系统状态和行为集合之间的关系,为了达到整个系统的优化决策,首先,根据呼叫被拒绝造成的网络开销确定系统最优目标,即最小化系统能耗,如式(2)所示:

$$\min_{\psi} g_{\psi} = \sum_{l=1}^L C_R \lambda_l P_R \quad (2)$$

其中, C_R 是业务类型 l 呼叫被拒绝的成本,具体参数定义如表 1 所列, λ_l 是呼叫 l 的到达率, P_R 是阻塞/掉线概率, L 是呼叫总数。由于决策时刻是随机分布的,后文利用半马尔科夫决策模型(Semi-Markov Decision Process, SMDP)进行建模分析。

表 1 拒绝成本

业务类型 l	到达速率	拒绝成本	描述
1	λ_{no}	C_{BNO}	Overlay 新呼叫被阻塞产生的拒绝成本
2	λ_{nu}	C_{BNU}	Underlay 溢出呼叫被阻塞产生的拒绝成本
3	λ_{hoo}	C_{DOO}	Overlay 切换呼叫掉线产生的拒绝成本
4	λ_{hu}	C_{DHU}	Underlay 溢出切换呼叫掉线产生的拒绝成本

本文中,网络采用固定信道容量资源分配机制(Fixed

Channel Allocation, FCA), 即两种网络的网络容量分配固定, 利用 C_O 和 C_U 分别代表 Overlay 和 Underlay 两种网络容量。异构无线网络中包含了两种业务类型, 一种是对服务质量 (QoS) 参数敏感的业务, 另一种是“尽力而为”的数据业务。数据业务的资源管理相对简单, 因为对服务质量参数要求不高, 因此只要有带宽就可以满足其需求, 这在目前多媒体服务需求爆炸式增长而无线资源日益紧张且有限的情况下, 使得无线资源分配无法适应现实需求, 因此, 我们需要针对服务质量参数敏感的业务进行动态资源管理, 使得资源利用率进一步提高, 达到高质量服务需求和资源有效利用之间的平衡, 而不是一味地追求信道容量的扩充。

获得优化策略步骤, 先是在初始状态 s 下, 根据 $V_k(s)$ 通过量化迭代计算出 $V_{k+1}(s)$, 如式(3)所示:

$$V_{k+1}(s) = \frac{1}{v_{\max}} \left\{ \sum_{e \in E_A} q_e [\min\{\Delta V_k(\phi_e s), C_{R(e)}\} + V_k(s)] + \sum_{e \in E_N} q_e V_k(\phi_e s) + (v_{\max} - v_{out}(s)) V_k(s) \right\} \quad (3)$$

其中, $V_k(s)$ 代表了网络最小预期能耗, E_A 代表的事件是到达呼叫, E_N 代表的事件是服务完成呼叫离开, q_e 是事件 e 的转移速率, $C_{R(e)}$ 是事件 e 拒绝成本, $v_{out}(s)$ 是状态 s 的转移速率, $v_{\max}$ 是量化参数, 对应所有状态都有 $v_{\max} \geq v_{out}(s)$ 。 ϕ_e 代表状态 s 下对应事件 e 采取接受的决策。对应决策行为 ϕ 用式(4)来表示。

$$\Delta V_k(\phi_e s) = V_k(\phi_e s) - V_k(s) \quad (4)$$

式(3)反映了3种状态: 第1种是呼叫到达网络, 第2种是离开并且不采取任何行为, 第3种是保持同一状态不变化的情况。对于溢出呼叫, 在模型中定义为呼叫到达事件 E_A 。在呼叫到达时, 根据 $\Delta V_k(\phi_e s)$ 与拒绝成本来进行接纳判决, 如果小于拒绝成本则进行接收; 如果大于拒绝成本则阻塞呼叫请求。

获得最优策略后, 可以得到优化成本函数 g_ϕ 。因此, 达到最优目标的策略, 即可以满足最小化 $V_k(s)$ 的策略。

$$M_k = \max_{t \in S} V_{k+1}(t) - V_k(t) \quad (5)$$

$$m_k = \min_{t \in S} V_{k+1}(t) - V_k(t) \quad (6)$$

$$g_\phi = \lim_{k \rightarrow \infty} M_k = \lim_{k \rightarrow \infty} m_k \quad (7)$$

2.3 域内溢出呼叫分析模型

为了表征从 Underlay 溢出到 Overlay 网络的呼叫业务, 提出部分可观察马尔科夫调制泊松过程模型 (Partially-Observable Markov-Modulated Poisson Process, PO-MMPP)。通过该模型可以针对 Underlay 网络状态不完全明确的情况, 对突发性事件——溢出到 Overlay 网络的呼叫业务进行建模分析, 并通过部分可观察马尔科夫调制泊松过程模型来分析呼叫的连接时间、呼叫的逗留时间, 为后续进行接纳控制决策提供性能分析参数。

假设 Underlay 网络的接入点 i 的总呼叫数为:

$$\lambda_i^T = \lambda_{iu}^i + \sum_{v=1, v \neq i}^M \phi(v, i) \lambda_{vu}^v \quad (8)$$

其中, λ_{iu}^i 为新呼叫请求, λ_{vu}^v 代表从接入点 v 切换到 i 的呼叫, $\phi(v, i)$ 代表了接入点 v 切换到 i 的呼叫比率。根据部分信道保护的接纳控制策略获得接入点 i 的阻塞概率 P_B 和切换掉线概率 P_D 。定义呼叫在 i 接入点发生切换概率 $R_h^{(i)} = \eta_h^i / (\mu_u + \eta_h^i)$, μ_u 为在接入点呼叫持续时间, η 为在 Underlay 网络逗留时间。可以得到离开接入点 i 发生切换的呼叫总数:

$$\lambda_{iu}^i = R_h^{(i)} \{ (1 - P_D^{(i)}) \sum_{v=1, v \neq i}^M \phi(v, i) \lambda_{vu}^v + (1 - P_B^{(i)}) \lambda_{iu}^i \} \quad (9)$$

有3种事件导致 Underlay 的接入点发生突发性事件, 即溢出呼叫到 Overlay 网络, 分别为: 1) 接入点阻塞了新呼叫的服务请求; 2) 切换到接入点的呼叫发生掉线; 3) 在双覆盖区域的呼叫离开接入点。对于第3种事件, 可以根据泊松过程进行计算, 其到达速率为:

$$\lambda_{po} = \sum_{v=1}^M \phi(v, 0) \lambda_{vu}^v \quad (10)$$

针对前两种突发事件发生的溢出呼叫, 目前广泛使用马尔科夫调制的泊松过程 (Modulated Markov Poisson Process, MMPP) 和间断泊松过程 (Interrupt Poisson Process, IPP) 进行描述^[81], 覆盖的接入点溢出业务表示为 IPP(λ, α, β), 有溢出时随机开关的状态为“开”, 否则为“关”。呼叫到达率为 λ 的泊松分布, 开或关的持续时间为负指数分布, 均值分别为 $1/\alpha$ 和 $1/\beta$ 。

假设观察到的第 i 个 IPP 状态为开, 即 $x_i = 1$, 则 Underlay 的状态可以定义为:

$$\vec{u} = (x_1, x_2, \dots, x_M) \quad (11)$$

对于 Overlay 网络控制单元只知道所有 IPP 状态为开的集合, 即定义随机变量 $N = \omega(\vec{u}) = \sum x_i$ 。针对 Overlay 网络控制单元只可能观察到部分 Underlay 网络信息的情况, 本文提出部分可观察马尔科夫调制的泊松过程, 即只有部分接入点 $N = n(n=0, 1, \dots, M)$ 的信息, 即 $U(n)$:

$$U(n) = \{ \vec{u} \in U | \omega(\vec{u}) = n \} \quad (12)$$

模型的稳态概率 Π 可以通过稳态方程 $\Pi Q = 0$ 和归一化条件 $\Pi e = 1$ 进行求解, 得到 $\Pi = \sum_{v \in U(n)} \Pi(v)$ 。得到预期溢出呼叫速率为:

$$\lambda_v^{(n)} = E[\lambda_v^T | \vec{u} \in U(n)] = \sum_{\vec{u} \in U(n)} \lambda_v^T \frac{\pi_{\vec{u}}(\vec{u})}{\pi_{U(n)}} \quad (13)$$

根据式(10), 得到切换呼叫和新呼叫的到达率为:

$$\lambda_{ho}(\vec{u}) = \lambda_{po} + \sum_{i=1}^M x_i \lambda_{ho}^i, \lambda_{no}(\vec{u}) = \sum_{i=1}^M x_i \lambda_{no}^i \quad (14)$$

根据 PO-MMPP 获得状态 n 的溢出切换呼叫和溢出新呼叫到达速率分别为:

$$\lambda_{hv}^{(n)} = E[\lambda_{ho}(\vec{u}) | \vec{u} \in U(n)] = \sum_{\vec{u} \in U(n)} \lambda_{ho}(\vec{u}) \frac{\pi_{\vec{u}}(\vec{u})}{\pi_{U(n)}} \quad (15)$$

$$\lambda_{no}^{(n)} = E[\lambda_{no}(\vec{u}) | \vec{u} \in U(n)] = \sum_{\vec{u} \in U(n)} \lambda_{no}(\vec{u}) \frac{\pi_{\vec{u}}(\vec{u})}{\pi_{U(n)}} \quad (16)$$

定义状态由 $U(i)$ 转移到 $U(j)$ 的速率为 $q_v(i, j)$:

$$q_v(i, j) = \sum_{\vec{x} \in U(i)} \sum_{\vec{y} \in U(j)} q_v(\vec{x}, \vec{y}) \frac{\pi_{\vec{x}}(\vec{x})}{\pi_{U(i)}} \quad (17)$$

最后, 获得溢出的“开”、“关”状态持续时间为:

$$\alpha_v^{(n)} = q_v(n-1, n), \beta_v^{(n)} = q_v(n, n-1) \quad (18)$$

2.4 域内接纳控制决策模型

通过半马尔科夫决策过程五元组建立动态业务接纳控制模型, 包括状态空间 S 、行为空间 A 、状态转移概率 P 、状态持续时间 β 和能耗函数 V 。目标是决定的最优策略在有限或无限阶段最小化系统能耗值。

2.4.1 状态空间

定义本文基于半马尔科夫的异构无线网络联合接纳控制决策模型的系统状态为在每个决策时刻正在运行的不同业务数量以及在该网络区域中所发生的事件的集合, 系统状态描述为:

$$S = S(l, e), l = (i, n), 0 \leq i \leq C_o, 0 \leq n \leq M \quad (19)$$

其中, i 为 Overlay 网络内呼叫业务的数量, n 代表 Underlay

网络内发生阻塞或切换掉线的业务。 e 代表事件类型, 总共有两种, 一种是新到的业务请求, 用 r 来表示; 一种是完成了服务离开网络, 用 D 来表示。任何事件 e 可以用集合 $e \in \{r_1, r_2, \dots, r_U, D\}$ 分别表示业务类型 k 的状态是到达还是离开。

2.4.2 行动集合

当有业务到达网络 Overlay 域内, 申请网络服务时, 系统需要根据网络状态和业务类型做出接纳控制决策, 即需要决定是否接纳该请求, 这些决策统称为行为。业务离开系统时, 不采取任何行为控制, 系统继续运行。用以下集合表示:

$$A(s) \in \{\text{"拒绝"}, \text{"拒绝"}, \text{"拒绝"}\} = \{a_R, a_A, a_C\} \quad (20)$$

2.4.3 决策时刻

决策时间点是指一个服务请求到达系统或者一个已经完成服务离开系统的事件发生, 需要做决策的时间点。在本文系统模型中, 定义 $\beta(s, a)$ 为两个决策点之间的时间服从指数分布, 则对应每个系统状态 $s = \langle l, e \rangle$ 和行为 a , 有:

$$F(t|s, a) = 1 - e^{-\beta(s, a)t}, t \geq 0 \quad (21)$$

$$\beta_0 = \sum_{u=1}^N (\lambda_u + n_u \mu_u) \quad (22)$$

$$\beta(s, a) = \begin{cases} \beta_0, & a = a_C, a = a_R \\ \beta_0 + \mu_u, & a = a_A, e = r_u \end{cases} \quad (23)$$

2.4.4 状态转移概率

$p(j|s, a)$ 定义了系统状态从 s 到 j , 采取行动 $a \in A(s)$ 的所有转移概率。首先定义:

$$\begin{aligned} A_s: s = (i, n) &\rightarrow s' = (i+1, n) \\ D_s: s = (i, n) &\rightarrow s' = (i-1, n) \\ Q_s: s = (i, n) &\rightarrow s' = (i, n+1) \\ R_s: s = (i, n) &\rightarrow s' = (i, n-1) \end{aligned} \quad (24)$$

对应一个到来的服务请求 $e \in \{r_1, r_2, \dots, r_U\}$ 采取行动为拒绝的 $a = a_R$, 或者一个服务得到满足离开系统 $e \in \{D\}$, 采取行动为继续 $a = a_C$, 得到转移概率为:

$$p(j|s, a) = \begin{cases} \frac{\lambda_u}{\beta_0}, & j = \langle A_s, r_u \rangle \\ \frac{n_u \mu_u}{\beta_0}, & j = \langle D_s, D \rangle \end{cases} \quad (25)$$

对应一个到来的服务请求 $e \in \{r_1, r_2, \dots, r_U\}$ 采取行动为接受的 $a = a_A$ 的转移概率为:

$$p(j|s, a_A) = p(j|\langle A_s, D \rangle, a_R), e = r_u \quad (26)$$

2.4.5 能耗模型

根据网络状态和对应的行动, 可以预估一个异构无线网络中采取相应行动的系统能耗, 用 $V_k(s)$ 来表示, 通过量化迭代得到长期折扣能耗 $V_{k+1}(s)$, 确定决策策略。

$$\begin{aligned} V_{k+1}(s) = \frac{1}{v_{\max}} \{ & \lambda_{ho}^{in} \min\{\Delta V_k(A_s), C_{DCC}\} + \lambda_{hu}^{(n)} \min\{\Delta V_k \\ & (A_s), C_{DHO}\} + \lambda_{mu}^{(n)} \min\{\Delta V_k(A_s), C_{BNO}\} + \lambda_{no} \\ & \min\{\Delta V_k(A_s), C_{BNC}\} + \alpha_v^{(n)} \Delta V_k(Q_s) + \beta_v^{(n)} \Delta V_k \\ & (R_s) + i(\mu_o + \eta_{ho}) \Delta V_k(D_s) + v_{\max} V_k(s) \} \end{aligned} \quad (27)$$

3 模型性能分析

对于异构无线网络接纳控制机制的评估需要两方面指标: 对服务质量(QoS)的性能指标; 高效优化利用无线资源的指标。阻塞率是衡量 QoS 的重要标准, 本节推导出域内接纳控制算法的阻塞率。

对于提出的接纳控制模型中的每一个状态, 采取不同行动有相应的能耗, 根据计算出来的能耗, 选择能耗最小的行

动。当模型中的最优策略和状态转移概率确定后, 可以得到系统的稳态概率, 用 π_j 表示在状态 $\langle l, e \rangle$ 时的稳态概率。计算稳态概率时, 需要考虑两种可能情况: 拒绝一个新到的业务请求及接受一个新到的服务请求。

$$\begin{cases} \pi_j = \sum_{i \in I} \pi_i \cdot \tilde{p}_{ij} \\ \sum_{j \in I} \pi_j = 1 \end{cases} \quad (28)$$

通过对式(28)的求解, 可以得到系统在任何状态下的稳态概率, 对于业务 T 请求接受服务的概率可以表示为:

$$P_T = \frac{\sum_{a \in \vec{n}, r = a_A} \pi \langle s, r_u \rangle}{\sum \pi \langle s, r_u \rangle} \quad (29)$$

相应的可以得到业务请求的阻塞率为:

$$P_{blocking} = 1 - P_T \quad (30)$$

4 网络仿真实验结果与分析

仿真场景如图 1 所示, 仿真使用了 IBM ThinkPad R61 型号的手提电脑, 配置为 Inter(R) Core(TM) Duo CPU T8100 2.10GHz, 1GB 的内存, 使用仿真软件 Matlab7.0.1 获得最优策略, 利用软件 LINGO 9.0 仿真得到网络性能参数和服务质量参数。为了保证长期收益收敛, 设置模型中的折扣因子 α 为 0.1, 为了保证仿真的精度, 设置 ξ 为 10^{-10} 。具体仿真参数如表 2 所列。

表 2 主要仿真参数

参数	值	参数	值
C _o	50calls	η_{ho}	0.005sec ⁻¹
C _u	10calls	η_h^i	0.01sec ⁻¹
λ_{no}	0.4calls/sec	C _{BNO}	1.5
λ_{nu}	0.2calls/sec	C _{BNC}	2
μ_o	6sec	C _{DCC}	3
μ_u	4sec	C _{DHO}	4

表 3 列出了离开行为的系统开销值。表 4 列出了在系统状态 $\langle l, n, r1 \rangle$ 时, 本文提出接纳控制的优化决策策略。表 5 列出了在系统状态 $\langle l, n, r2 \rangle$ 时, 本文提出接纳控制的优化决策策略。在负载增加的情况下, $\Delta V(s)$ 是非递增的, 满足整个系统进行最优判决的需要。优化决策策略中, “1”代表接受这种呼叫, “0”代表拒绝, “-1”说明这种状态不存在。

表 3 离开行为的系统开销值

b=D	l			
	1	2	3	4
1	48.6428	48.0680	47.1133	45.6066
2	47.3962	46.8159	45.8593	-1
3	45.7480	45.1533	44.1937	-1
n	4	43.7909	43.1091	-1
5	41.4671	40.7454	-1	-1
6	38.5813	-1	-1	-1
7	35.2872	-1	-1	-1

表 4 优化决策(b=r₁)

b=r ₁	l			
	1	2	3	4
1	1	1	1	0
2	1	1	1	-1
3	1	0	0	-1
n	4	0	-1	-1
5	0	0	-1	-1
6	0	-1	-1	-1
7	0	-1	-1	-1

表 5 优化决策($b=r_2$)

$b=r_2$	l			
	1	2	3	4
n	1	1	1	0
	2	1	1	0
	3	1	1	-1
	4	1	0	-1
	5	1	0	-1
	6	0	-1	-1
	7	0	-1	-1

进一步,当接入点数量增加时,其他参数保持不变,得到系统开销值如表 6 所列,决策行动集合如表 7 和表 8 所列。

表 6 离开行为的系统开销值

$b=D$	l		
	1	2	3
n	1	50.0604	49.527
	2	48.8284	48.2954
	3	47.1996	46.6665
	4	45.2674	44.7342
	5	42.9720	42.4387
	6	40.2617	39.7237
	7	37.1120	36.5689
	8	33.5002	32.8927
	9	29.4225	28.7723
	10	24.7848	-1
	11	19.6864	-1

$b=D$	l		
	4	5	6
n	1	47.4900	46.0277
	2	46.2567	44.7914
	3	44.6253	43.1472
	4	42.6901	-1
	5	40.3934	-1
	6	-1	-1
	7	-1	-1
	8	-1	-1
	9	-1	-1
	10	-1	-1
	11	-1	-1

表 7 优化决策($b=r_1$)

$b=r_1$	l					
	1	2	3	4	5	6
n	1	1	1	1	1	0
	2	1	1	1	1	-1
	3	1	1	1	0	-1
	4	0	0	0	-1	-1
	5	0	0	0	-1	-1
	6	0	0	0	-1	-1
	7	0	0	0	-1	-1
	8	0	0	-1	-1	-1
	9	0	0	-1	-1	-1
	10	0	-1	-1	-1	-1
	11	0	-1	-1	-1	-1

表 8 优化决策($b=r_2$)

$b=r_2$	l					
	1	2	3	4	5	6
n	1	1	1	1	0	0
	2	1	1	1	0	-1
	3	1	1	1	0	-1
	4	1	1	1	0	-1
	5	1	1	1	0	-1
	6	1	1	0	-1	-1
	7	1	1	0	-1	-1
	8	1	0	-1	-1	-1
	9	1	0	-1	-1	-1
	10	0	-1	-1	-1	-1
	11	0	-1	-1	-1	-1

可以看出系统所作的决策并未发生显著变化。当网络环境发生变化时,为新业务服务请求分配资源是动态适应的,即增加接入点数量不能影响新业务接纳控制策略,这主要是由于本文提出的动态接纳控制策略需要从网络效用和系统整体收益来进行控制。

进一步,增加呼叫到达率 $\lambda_{no}=0.8, \lambda_{mi}=0.6$,其他参数保持不变,得到系统开销值如表 9 所列,决策行动集合如表 10 和表 11 所列。可以看出系统开销值随着新呼叫到达率 λ_{no} 增加而增加,系统根据网络负载变化所作的决策发生了变化。

表 9 离开行为的系统开销值

$b=D$	l			
	1	2	3	4
n	1	53.92614	53.48987	52.65694
	2	52.74243	52.41638	51.72397
	3	51.13217	50.7917	50.26199
	4	49.22045	48.94632	-1
	5	46.96652	46.79911	-1
	6	44.02625	-1	-1
	7	40.68719	-1	-1

表 10 优化决策($b=r_1$)

$b=r_1$	l			
	1	2	3	4
n	1	1	1	0
	2	1	1	-1
	3	1	1	-1
	4	0	0	-1
	5	0	0	-1
	6	0	-1	-1
	7	0	-1	-1

表 11 优化决策($b=r_2$)

$b=r_2$	l			
	1	2	3	4
n	1	1	1	0
	2	1	1	-1
	3	1	1	-1
	4	1	0	-1
	5	1	0	-1
	6	0	-1	-1
	7	0	-1	-1

图 2 和图 3 所示为采用所提的优化算法和完全共享算法在新呼叫到达率 λ_{no} 增加的情况下,服务质量性能的比较。可以看出,本文提出的优化算法在业务负载增加的情况下,新呼叫阻塞概率和切换掉线概率都明显低于完全共享算法。这主要是因为提出的优化算法可以自适应负载变化情况,根据系统整体开销值,充分利用资源来接纳更多的呼叫,降低阻塞率和掉线率,以保证服务质量。

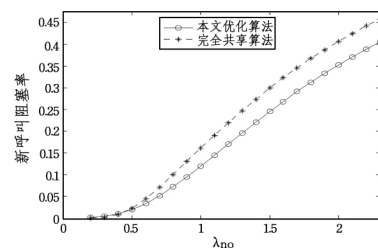


图 2 新呼叫阻塞概率性能比较

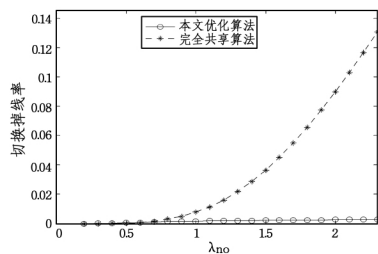


图3 切换呼叫阻塞概率性能比较

图4所示为本文提出的优化算法与完全共享算法网络能耗情况的比较。从图中可以看到,随着新服务请求到达率 λ_{no} 的增加,整个系统能耗随之增加,本文提出的优化算法可以获得较低的网络能耗。当新业务发生阻塞前,完全共享算法整个网络能耗已经接近于1,与之相比,本文提出的优化算法网络能耗降低了30%。本文提出的优化算法从用户服务质量需求出发,建立与网络能耗之间的联系,充分利用资源的特性,保证用户服务质量,以最小化网络整体能耗值得优化的接纳控制策略,从而具有较高的网络性能。而完全共享算法的CAC策略仅从资源特性考虑,无法自适应用户和网络的动态变化,因而网络效用率较低。

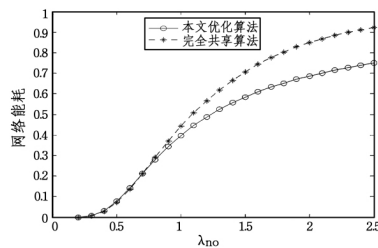


图4 网络能耗比较

结束语 本文提出在异构无线网络中,解决域内业务进行动态接纳控制的优化决策问题。针对域内突发溢出业务建立部分可观察马尔科夫调制泊松过程的性能分析函数,基于半马尔科夫决策过程进行动态业务接纳控制问题建模,优化接纳控制决策问题转化为最小化系统能耗,为异构无线网络业务提供服务质量保证的同时高效利用资源。本文主要工作有:

(1)提出的异构无线网络域内接纳控制优化目标是全局的,不仅反映了业务服务质量需求,还反映了网络状态的变化。

(2)该算法能为域内呼叫业务推导出有效的接纳控制策略,动态地决策控制,获得最小的系统开销。

(3)采用部分可观察马尔科夫调制泊松过程的业务模型对溢出呼叫进行建模分析,获得随机、突发性事件模型,为后续的网络性能分析推导出重要性能参数,从而保证业务的服务质量。仿真实验表明,本文算法比完全共享算法的网络能耗降低了30%,在服务质量参数的性能指标对比中,本文的模型和算法都具有更好的综合性能。

参考文献

[1] Dhurandher SK, Woungang I, Obaidat MS. A Distributed Adaptive Admission Control Scheme for Multimedia Wireless Mesh Networks[J]. IEEE Journal on Systems, 2015, 9(2): 595-604

[2] Charfi E, Chaari L, Kamoun L. PHY/MAC Enhancements and QoS Mechanisms for Very High Throughput WLANs: A Survey

[J]. IEEE Journal on Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(4): 1714-1735

[3] Esmailpour A, Nasser N. Dynamic QoS-Based Bandwidth Allocation Framework for Broadband Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(6): 2690-2700

[4] Xiao Long-jin, Geyong Min. Modeling and Analysis of an Integrated Scheduling Scheme with Heterogeneous LRD and SRD Traffic[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(6): 2598-2607

[5] Tsai M H, Sung J T, Huang Y M. Resource management to increase connection capacity of real-time streaming in mobile WiMAX[J]. Communications IET, 2010, 4(9): 1108-1115

[6] Young M K, Eun J L, Boo G J. Swarm Intelligence Based Self-organizing QoS Framework for Ever-changing Future Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2013, 31(2): 735-749

[7] Walingo T M, Takawira F. Performance Analysis of a Connection Admission Scheme for Future Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(4): 1994-2006

[8] Dosciatti E R, Godioy W, Foronda A. TQ/PSO-A New Scheduler to Optimize the Time Frame with PSO in WiMAX Networks[J]. IEEE on Latin America Transactions, 2015, 13(1): 365-376

[9] Bu Sheng-rong, Yu F R. Interference-Aware Energy-Efficient Resource Allocation for OFDMA-Based Heterogeneous Networks With Incomplete Channel State Information[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015, 64(3): 1036-1050

[10] Qian Li, Hu R Q, Yi Ran. Optimal Fractional Frequency Reuse and Power Control in the Heterogeneous Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(6): 2658-2668

[11] Feng Da-quan, Jiang Chen-zi, Gubong L. A survey of energy-efficient wireless communications[J]. Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(1): 167-178

[12] Zheng Jie, Li Jian-dong, Liu Qin. On minimizing delay with probabilistic splitting of traffic flow in heterogeneous wireless networks[J]. Communications, China, 2014, 11(12): 62-71

[13] Jie Miao, Zheng Hu, Kun Yang. Joint Power and Bandwidth Allocation Algorithm with QoS Support in Heterogeneous Wireless Networks[J]. IEEE on Communications Letters, 2012, 16(4): 479-481

[14] Liang Liang, Gan Feng. Game-Theoretic Hierarchical Resource Allocation for Heterogeneous Relay Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015, 64(4): 1480-1492

[15] 闫继垒, 李建东, 赵林靖. 认知无线网络中兼顾效用与公平的联合带宽和功率分配算法[J]. 通信学报, 2013, 34(10): 56-64

[16] 胡莹, 黄永明, 俞菲. 基于能效优化的用户调度与资源分配算法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(8): 1950-1956

[17] 陈康, 夏玮玮, 沈连丰. 基于多门限预留机制的自适应带宽分配算法[J]. 通信学报, 2014, 35(12): 78-88

[18] Puterman M L. Markov Decision Process: Discrete Stochastic Dynamic Programming[M]. New York: Wiley, 2005

[19] Carvalho G H S, Woungang I, et al. A semi-Markov decision process-based joint call admission of RAT cell reselection in next generation wireless networks[J]. IEEE Trans. Mobile Computing, 2013, 57(2): 3545-3562

[20] Niu Z S. TANGO: Traffic-aware network planning and green operation[J]. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(5): 25-29