

一种 CDMA 网络多业务的呼叫允许控制算法

刘莉 荆涛 付立 冯玉珉
(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

摘要: 现今无线网络中的多媒体业务具有很大需求。该文对多业务 CDMA 通信系统容量进行分析, 引入有效带宽概念, 提出一种呼叫允许控制资源分配优化算法(CAC-RA)。此算法将多媒体业务分为实时业务和非实时业务, 通过对自适应实时业务采用马尔科夫模型, 对非实时业务采用排队模型, 将两模型合并生成的利益函数采用非线性规划, 使呼叫允许控制、切换策略和资源分配问题同时得到解决。实验数据显示 CAC-RA 算法实现了合理的资源利用和最大的利益值, 能较好地适应多业务 CDMA 网络。

关键词: CDMA 网络; 呼叫允许控制; 资源分配; 多业务

中图分类号: TN915.07

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)06-1466-04

A Call Admission Control in Multi-Service CDMA Networks

Liu Li Jing Tao Fu Li Feng Yu-min

(Institute of Electronic Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: There is a great demand on multimedia services in wireless networks. Capacity analysis of a multi-service CDMA communication system is employed in which the concept of equivalent bandwidth is introduced, and then an optimal Call Admission Control and Resource Allocation algorithm (CAC-RA) is proposed. In CAC-RA, multimedia traffic is classified into two classes: real-time traffic and non real-time traffic, and manage Call Admission Control (CAC), handoff scheme and resource allocation (RA) together by adopting Markov Decision Process model for adaptive real-time applications, queuing model for non real-time applications, and nonlinear programming for the proposed revenue function which combine these two models. Numerical results reveal that the proposed CAC-RA scheme adapts itself well to multi-service CDMA networks by achieving reasonable utilization of resources.

Key words: CDMA networks; Call Admission Control (CAC); Resource Allocation(RA); Multi-Service

1 引言

网络中的呼叫允许控制(CAC)是一种管理业务质量(QoS)机制。时分多址(TDMA)蜂窝网络的呼叫允许控制问题属于带宽受限网络, 而码分多址(CDMA)网络属于干扰受限网络。有许多对 CDMA 系统容量估计的方法, 都是以信噪比(SIR)为衡量标准, 计算每个用户的信噪比是否满足最低要求^[1,2]。有的呼叫允许控制方法的状态维数较高, 求解复杂^[2], 还有的呼叫允许控制方法为切换业务预留一部分带宽以保证切换业务的优先级, 剩余带宽再在不同类新呼叫业务间进行分配, 这些阈值可以随网络情况自适应变化^[3,4]。本文引用等效带宽的思想^[1], 将 CDMA 系统看成与 TDMA 系统相同的带宽受限系统, 随后提出的 CAC-RA 算法针对无线网络的多类业务, 采取将接入允许控制和资源分配结合在一起的策略, 以达到整体最优, 并且不需对邻近小区业务量进行预测, 复杂性大大降低。

本文将多媒体业务分成两类: 实时业务和非实时业务,

其中实时业务是自适应 QoS 业务, 即用户应用层对业务层提出的 QoS 要求具有一定适应性, 可以允许业务层根据网络情况在一定范围内自适应调整的业务。

本文其他部分组织如下: 第 2 节讲述 CDMA 的等效带宽思想, 第 3 节具体讲述 CAC-RA 算法实现, 第 4 节是将算法应用到 CDMA 系统的实验评价, 最后得出结论。

2 等效带宽思想

在多业务 DS-CDMA 系统中, 堵塞发生在下列情况:

$$\sum_{i=1}^{K_v} v_i E_{vi} R_i + \sum_{i=1}^{K_d} l_i E_{di} R_i + N_0 W \geq I_0 W \quad (1)$$

其中 W 是扩频带宽, N_0 是背景噪声功率谱密度, I_0 是在扩频带宽下允许的最大总干扰功率谱密度, K_v, K_d 分别是实时和非实时业务的用户数, R_i 是 i 用户的数据传输率, E_i 是比特能量, v_i, l_i 分别是实时业务和非实时业务的活动因子, 简化后可为 1。由式(1)可得不发生堵塞的情况为

$$\sum_{i=1}^{K_v} v_i \varepsilon_{vi} R_i + \sum_{i=1}^{K_d} l_i \varepsilon_{di} R_i \leq W(1 - \eta) \quad (2)$$

$\varepsilon_{vi}, \varepsilon_{di}$ 分别实时业务和非实时业务信噪比, $\eta = N_0 / I_0$ 。

考虑临近小区的干扰影响,再乘上因子 $(1+f)$,其中 f 是小区间和小区内干扰比,即为

$$Z = (1+f) \left(\sum_{i=1}^{K_v} v_i \varepsilon_{vi} R_i + \sum_{i=1}^{K_d} l_i \varepsilon_{di} R_i \right) \leq W(1-\eta) \quad (3)$$

上式可简化为

$$\sum_{j=1}^{K_v} W_{vj} + \sum_{j=1}^{K_d} W_{dj} + \sum_{\text{其他小区}} \sum_{j=1}^K W_j \leq W_T \quad (4)$$

式(4)中, $W_{vj} = \varepsilon_{vj} R_{vj}$, $W_{dj} = \varepsilon_{dj} R_{dj}$, $W_T = W(1-\eta)$, W_{vj} , W_{dj} 分别是实时业务和非实时业务用户的等效带宽,即信噪比与其传输速率的乘积, W_j 是其它小区干扰用户的等效带宽。这样,CDMA系统的等效带宽与TDMA的物理带宽对应起来,可以进行灵活的信道分配,这也是将下节提出的CAC-RA算法应用于CDMA系统的前提。

3 优化多媒体呼叫允许控制和资源分配算法 (CAC-RA)

3.1 严格资源分配和自适应资源分配方法

严格资源分配(Rigid Resource Allocation, RRA)算法根据不同类型业务的呼叫率和分配带宽来为业务严格划分带宽,见式(5)

$$BB_i = \frac{\lambda_i B_i}{\sum_i \lambda_i B_i} c \quad (5)$$

λ_i 是第 i 种业务的呼叫率, B_i 是为每个第 i 类业务用户分配的带宽。 c 是总带宽, BB_i 为对第 i 种业务分配的总带宽。一旦呼叫到来且带宽条件满足此呼叫需求就接入,并且分给其最大需求带宽(RRA1)或最小带宽(RRA2),否则拒绝此请求。

自适应资源分配策略^[5](Adaptive Equal Resource Sharing Allocation, AERSA)根据业务优先级进行带宽重分配,调整各业务用户带宽,尽量接入最大用户。

3.2 CAC-RA 算法的形成

3.2.1 CAC-RA 算法中假设的前提条件 (1)总的带宽资源为 c ,按照先进先服务策略对其进行完全共享的分配。

(2)有 n 种不同的业务类型 $(1,2,\dots,n)$, (x_1, x_2, \dots, x_n) 是一种系统状态,表示此时系统中包含的 i 业务的用户数是 x_i 。接入的呼叫用户可以得到位于最大带宽和最小带宽之间的带宽,假设第 i 类业务的带宽分为 k 个层次,表示为 $(b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik})$,并且 $b_{i1} < b_{i2} < \dots < b_{im}$,那么在 i 类业务用户中分别获得带宽为 $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}$ 的用户数表示为 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})$ 。显然存在下式: $\sum_{j=1}^k x_{ij} = x_i$ 。

(3)用户的新呼叫到达过程服从泊松分布,均值分别为 $\lambda_{11}, \lambda_{21}, \dots, \lambda_{n1}$,切换呼叫到达过程也服从泊松分布,均值分别为 $\lambda_{12}, \lambda_{22}, \dots, \lambda_{n2}$,并且切换呼叫到达率与新呼叫到达率成正比,即 $\lambda_{i2} = \alpha \lambda_{i1}$ 。

(4)业务的服务率服从泊松分布,均值分别为 $\mu_1, \mu_2, \dots,$

μ_n ,用户切换离开率服从泊松分布,均值分别为 h_1, h_2, \dots, h_n ,并且有如下关系: $h_i = \beta \mu_i$ 。

3.2.2 CAC-RA 算法中的实时业务模型

本文仅对实时(语音或视频)业务与非实时数据业务两种业务共同占用带宽的简单情况进行分析,业务种类增大时分析类似。利用马尔科夫状态分析实时业务。假设实时业务有 k 种带宽 b_1, b_2, \dots, b_k , (x_1, x_2, \dots, x_k) 表示被分配给 b_1 带宽的用户数为 x_1 ,被分配给 b_2 带宽的用户数为 x_2 ,等等。考虑到如果带宽重新分配频率越高,用户的质量变化频率也越高,影响用户的感受效果,因此只在接入新实时业务用户呼叫时才重新分配带宽。 λ_n, λ_h 分别表示新用户呼叫率和切换用户呼叫率, a_1, a_2 分别表示是否接入新用户呼叫和切换到用户呼叫的动作, $a_1=1$ 表示接入新用户呼叫,否则表示拒绝此呼叫; $a_2=1$ 表示接入切换到用户呼叫,否则表示拒绝。 μ 表示实时业务用户服务率, h 表示切换离开率。因此有下列马尔科夫状态链(见图1)。 $(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{kj})$ 表示在实时业务用户数为 j 时,即 $\sum_{i=1}^k x_{ij} = j$, q 为可接入的最大用户数,用户可以被分配给 b_1, b_2, \dots, b_k 带宽中的一种, x_{ij} 表示被分配给 b_i 带宽的用户数,此状态下实时业务的带宽利用值 $B = \sum_{i=1}^k b_i x_{ij}$ 。状态稳态概率分别是 $\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_q$,即

$$\pi_j = P \left\{ \sum_{i=1}^k x_{ij} = j \right\} \quad (6)$$

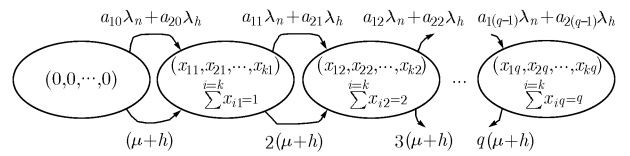


图1 实时业务用户占用带宽状态转移图

由马尔科夫状态图可得状态方程:

$$\sum_{j=0}^q \pi_j = 1 \quad (7)$$

$$(a_{1j} \lambda_n + a_{2j} \lambda_h) \pi_j = (j+1)(\mu+h) \pi_{j+1}, \quad 0 \leq j \leq q-1$$

利用以上状态方程可得到稳态概率 $\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_q$ 。

新呼叫阻塞率为 $P_{vb} = \sum_{j=0}^q (1-a_{1j}) \pi_j$,切换呼叫阻塞率为

$P_{vd} = \sum_{j=0}^q (1-a_{2j}) \pi_j$, P_{dh} 是切换呼叫阻塞率上限,即 $P_{vd} \leq P_{dh}$ 。

3.2.3 CAC-RA 算法中的非实时数据业务模型

我们使用M/M/m/ B_d 混合制排队系统模型对非实时数据业务进行分析,在状态 $(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{kj})$ 下,实时业务占用的带宽 $B = \sum_{i=1}^k b_i x_{ij}$,用于非实时数据业务的带宽为 $B = c - \sum_{i=1}^k b_i x_{ij}$,

呼叫到达率和服务率分别为 λ_d 和 μ_d , $\rho_d = \lambda_d/\mu_d$, B_d 是对非实时数据业务提供的缓存大小, m 系统中同时进行服务的非实时数据用户数, $m = \left\lceil c - \sum_{i=1}^k b_i x_{ij} \right\rceil / \mu_d$, p_i 表示有 i 个数据业务用户的概率, 数据损失率为 p_{B_d} , 数据业务带宽资源利用值为 r_d , 有下式:

$$p_0 = \left[\sum_{n=0}^{m-1} \frac{(m\rho_d)^n}{n!} + \frac{(m\rho_d)^m (1 - \rho_d^{B_d - m + 1})}{m!(1 - \rho_d)} \right]^{-1} \quad (8)$$

$$P_{db} = p_{B_d} = \frac{m^m \rho_d^{B_d}}{m!} p_0 \quad (9)$$

$$r_d = m\lambda_d(1 - P_{db}) \quad (10)$$

3.2.4 CAC-RA 算法 我们建立一个利益函数 F 如下:

$$F = \sum_{j=0}^q R(p, q, x_j) \pi_j(p, q) \quad (11)$$

其中 $R(p, q, x_j)$ 为在状态 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{kj})$ 条件下的利益值

$$R(p, q, x_j) = \sum_{i=1}^k b_i x_{ij} + r_d - (\alpha_1 \lg P_{vb} + \alpha_2 \lg P_{db}) \quad (12)$$

等式右边第 1 项为实时业务使用的带宽, 第 2 项为非实时业务使用带宽, P_{vb}, P_{db} 分别是实时业务的新呼叫阻塞率和非实时数据业务的阻塞率。 α_1, α_2 分别为权重, $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。

下面我们只需求解最优化问题 $\text{MAX} \sum_{j=0}^q R(p, q, x_j) \pi_j$

(p, q) 。其约束条件为

$$\sum_{i=1}^k b_i x_{ij} \leq c, \quad \forall j, \quad 1 \leq j \leq q \quad (13)$$

$$a_{1j} + a_{2j} \neq 0, \quad \forall j, \quad 0 \leq j \leq q-1 \quad (14)$$

$$\sum_{j=0}^q (1 - a_{2j}) \pi_j \leq P_{db} \quad (15)$$

4 仿真及分析

本节的仿真主要将本文提出的 CAC-RA 算法与严格公平的资源分配算法(RRA1 和 RRA2)以及自适应资源分配策略(AERSA)作比较。其他试验参数详见表 1。

图 2 显示了在新用户呼叫实时业务到达率增加时, 各算法目标函数的利益值, 可以看出 CAC-RA 算法的利益值明显高于 RRA1 和 RRA2 算法, 其利益值随实时业务到达率增大成下降趋势是因为非实时数据业务阻塞率增大的原因, CAC-RA 算法的利益值略微高于 AERSA 是因为使用利益函数最优解的作用。图 3 反映了算法总带宽的利用情况。从图中可见, CAC-RA 和 AERSA 的带宽利用值最优, 这是对

实时自适应业务进行带宽重分配的结果。图 4 是实时业务的带宽利用值, 可以看到在实时业务到达率过大时 CAC-RA 的实时业务带宽略微下降, 这是因为要避免非实时数据业务的阻塞率过大, 在呼叫用户实时业务到达率较大时降低每个用户的实时业务带宽(表现为语音或视频质量略有下降), 使得分配给非实时数据业务的带宽不会太小。CAC-RA 算法以保证实时业务切换呼叫阻塞率上限为前提, 包括总带宽的利用效率, 实时业务和非实时业务的新呼叫阻塞率, 实时和非实时业务带宽的合理分配等, 因此达到了总体最优。

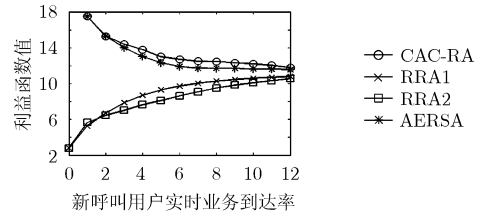


图 2 目标函数的利益值

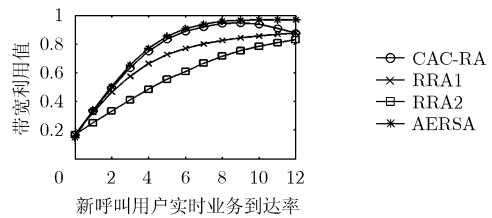


图 3 总带宽利用值

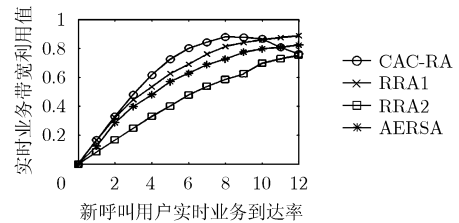


图 4 实时业务带宽利用值

5 结束语

本文针对多业务 CDMA 系统, 利用等效带宽思想分析系统容量, 提出了 CAC-RA 算法。实验数据显示了此算法在带宽利用率, 保证各类用户 QOS 等方面达到整体最优。提出的 CAC-RA 算法中假设各类业务的到达率和离开率均服从伯松分布, 建立的是最简单的业务模型。将来将此算法扩展, 使其同时适用于其他业务流并考虑到无线信道衰落等因素。

表 1 试验参数

试验参数	W/R	(b_1, b_2)	$E_v/I_0,$ E_d/I_0	λ_d	μ_d	σ_v, σ_d	B_d	μ	f	α	β	η
数值	128	(1,2)	6dB	2	1	2.5dB	$m+2$	1	0.55	0.5	0.5	0.25

参 考 文 献

- [1] Sun Songsong and Krzymien W A. Call admission policies and capacity analysis of a multi-service CDMA personal communication system with continuous and discontinuous transmission. 1998. VTC 98. 48th IEEE Vehicular Technology Conference, Ottawa, Ont., Canada, 18-21 May 1998, 1: 218-223.
- [2] Raghuveer R M, Comaniciu C, Lakshman T V, and Poor H V. Call admission control in wireless multimedia networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2004, 21(5):51-58.
- [3] Zhu Lidong, Ling Xiang, and Wu Shiqi. Call admission control in multiservices CDMA systems. IEEE 2002 International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions., New York, NY, USA, 29 June-1 July 2002, Vol. 1:177-181.
- [4] Chang Jau-Yang and Chen Hsing-Lung. A timing-based bandwidth allocation protocol for QoS provisioning in multimedia wireless networks. 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. Tokyo, Japan, 23-24 March 2004: 144-149.
- [5] Lee Ji-Hoon, Jung Tae-ho, Yoon Suk-Un, Youm Sung-Kwan, and Kang Chul-Hee. An adaptive resource allocation mechanism including fast and reliable handoff in IP-based 3G wireless networks., *IEEE Per. Commun.*, 2000, 7(6): 42-47.
- 刘 莉: 女, 1979 年生, 博士生, 研究方向为 IP 多媒体技术、视频信息处理及其网络应用等.
- 荆 涛: 男, 1964 年生, 博士, 研究方向为多媒体通信、通信与信息系统.
- 付 立: 男, 1979 年生, 博士生, 研究方向为多媒体通信.
- 冯玉珉: 男, 1940 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为多媒体通信.