

适应自相似业务的无线网络自主 CAC 策略

丰雷, 李文璟, 邱雪松

(北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)

摘 要: 为在保证 QoS 的前提下提升无线网络的接纳容量, 研究了无线网络业务的自相似特征, 将其与 QoS 参数共同引入到服务带宽的计算当中, 提出基于服务带宽优化并具有自主特性的 SS-CAC (self-organized based on network similarity call admission control) 策略, 用以降低网络带宽利用度及业务阻塞概率。之后对 SS-CAC 策略进行实现仿真, 与在网络中采用传统 CAC 机制相比, 采用 SS-CAC 不仅可以保证语音业务的质量还可降低 2.69% 的数据业务平均带宽使用率, 同时数据业务的阻塞率和掉话率也在高负载情况下分别下降了 0.95% 和 2.81%。

关键词: 自组织网络; 呼叫准入控制; 自相似业务; 服务带宽优化; 带宽利用率

中图分类号: TN915.07

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)08-0027-08

Self-organized CAC mechanism adopting for self-similarity service in wireless network

FENG Lei, LI Wen-jing, QIU Xue-song

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Post and Telecommunication, Beijing 100876, China)

Abstract: To improve the access capacity in wireless network with the QoS ensuring, the service similarity in the wireless network was researched, and the service bandwidth was calal with similarity and QoS parameters. Then an SS-CAC (self-organized based on network similarity call admission control) mechanism based on the service bandwidth optimization was introduced to lower the system bandwidth utilization and service rejection probability. And the novel mechanism was achieved and simulated. Compared with traditional CAC, the results of simulation show the performance of SS-CAC mechanism can not only ensure the quality of the voice service but also reduce the bandwidth utilization of the data service by 2.69%. In addition, it can also reduce the call rejection ratio and call drop ratio by 0.95% and 2.81% respectively in the case of high cell load.

Key words: self-organized network; call admission control; self-similarity service; service bandwidth optimization; bandwidth utilization

1 引言

随着无线通信技术的发展, 用户无线业务资费持续降低, 运营商正面临越来越大的挑战。在这种情况下, 网络运维工作的自动化已成为必然趋势, 其可以使运营商在有效管理复杂的无线接入网络的同时, 实现网络的高质量及低成本运行。基于自组织网络 (SON, self-organized networks) 功能的

管理框架^[1]可以满足上述要求, 一方面, 运营商可通过 SON 功能实现智能化, 以尽量少的资源获取良好网络性能, 从而给用户提供最优的感知体验。另一方面, SON 的自主化功能可以减轻运营商的运维成本, 避免了手动操作的主观错误问题, 提升了网络运行的效率。

CAC (call admission control) 是 SON 中的一个重要用例^[1~3], 完成对于呼叫准入的控制, 其主要

收稿日期: 2012-07-06; 修回日期: 2013-03-28

基金项目: 国家创新研究群体科学基金资助项目(61121061); 国家科技重大专项基金资助项目(2011ZX03003-002-01); 新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET-10-0240)

Foundation Items: Creative Research Groups of China (61121061); National Science and Technology Major Project (2011ZX03003-002-01); Program for New Century Excellent Talents in University (NCET-10-0240)

目标是在保证现有呼叫 QoS 的情况下, 调度可用资源来接入新用户, 从而满足新呼叫对 QoS 的需求。目前基于自主 SON 的 CAC 控制研究工作中比较突出的是由欧盟 FP7 SOCRATES 项目中所提出的 CAC 用例解决方案^[4], 该策略的主要思想是基于运营商的策略和性能的测量, 以调整资源分配给切换到达的呼叫作为基础进行控制优化, 该解决方案取得了一定效果。但其主要特点是在控制过程中依靠对切换门限的实时更新来进行实现, 并不能对于网络形成整体自优化, 同时需要切换自优化用例进行策略补偿, 容易与其造成优化调整冲突^[3]。

另外, 随着网络业务的发展, 无线接入网逐渐向 IP 分组化转变, 相应地对于 CAC 机制也提出了新的要求。诸多研究^[5-8]已经表明, 网络的业务流量符合自相似特性, 这其中也包括无线网络, 然而目前无线网络的 CAC 控制主要基于 Markov 特性进行优化, 如文献[9]基于非实时业务的可变速率提出一种降级服务的 DCAC (degradation call admission control) 策略, 文献[10]采用模糊逻辑的方法提出基于网络负载优先级的 TP-FCAC (traffic priority-based fuzzy CAC), 但这些方法都没有考虑网络流量的自相似特性, 并不适用于具有大尺度时间流量突发现象的新无线网络。文献[11]虽然基于自相似特性提出一种弹性的 P-CAC 策略, 但其未考虑无线网络的特点, 也没有细致探讨网络自相似性和服务带宽界限的关系。

针对这些研究中存在的问题, 本文首先分析无线网络业务的自相似特性, 并计算适合自相似特性的最优分配带宽, 之后以此为基础, 提出了基于 Hurst 参数的 SON 的 SS-CAC (self-organized based on network similarity CAC) 策略, 该策略具有大时间尺度上的自主特性并考虑网络业务流量的自相似性, 实际的仿真结果表明, 本文所提出的 SS-CAC 策略较传统无线网络的 CAC 可以有效降低带宽的使用度及呼叫的阻塞概率, 提升系统的接纳容量。

2 无线业务自相似性的研究

2.1 自相似性过程定义及物理意义

对于一个广义平稳随机过程 $X = (X_1, X_2, \dots)$, 其具有恒定均值 μ 和有限方差 σ^2 , 则其自相关函数 $r(k) = E[(X_{i+k} - \mu)(X_i - \mu)] / \sigma^2$, $i, k = 0, 1, 2, \dots$ 。若

$r(k)$ 满足 $r(k) \sim lk^{-\alpha}L(k)$, l 为大于零的常数, α 为 (1,2)之间的任意数, $L(k)$ 为 $k \rightarrow \infty$ 趋势下的慢变函数, 即 $\lim_{k \rightarrow \infty} L(zk)/L(k) = 1, \forall z > 0$ 。

使 $X^{(n)} = (X_1^{(n)}, X_2^{(n)}, \dots)$ 为变量 X 的 n 阶叠加过程, 其中, $X_k^{(n)} = (X_{kn-n+1} + \dots + X_{kn}) / n$, 则其自相关函数为 $r^{(n)}(k)$ 。若对于任意的 n 存在 $r^{(n)}(k) = r(k)$, 则 X 是一个严格二阶自相似过程, 自相似系数 $H = 1 - 2/\alpha$, H 又被称为 Hurst 参数, 是描述过程自相似性的唯一参数, H 越大意味着其自相似的程度越高^[5,6]。

若将 X 定义为网络节点在不同时间上所到达的用户业务量, 则自相关函数 $r(k)$ 的拖尾性质说明了该节点距离 k 时间间隔下接收的业务流量在 k 较大时仍然具有相关性, 即业务流量存在大时间尺度上的突发性, 这和 Poisson 过程到达的接收节点流量模型具有很大的不同性。

2.2 无线网络业务的自相似性研究

由于未来的无线网络是完全基于分组化的通信过程, 这里假设基站服务下的第 m 用户为一业务源, 其会在发送数据 ON 状态和不发送数据 OFF 状态 2 种状态间交替转换, 期间保持空闲, 从而形成 ON/OFF 过程, 对于该用户而言, 在时刻 t 是否发送数据分组可用序列 $\{W_m(t), t \geq 0\}$ 表示, 若 $W_m(t) = 1$ 则表示该用户在时刻 t 发送一个数据分组, 若 $W_m(t) = 0$ 则不发送任何数据分组。假设基站的所有服务用户数为 M 及时间扩展因子 T , 则可得到在 $[0, T_i]$ 时间内所有服务用户的累积数据分组数量为

$$W_M^{\text{all}}(T_i) = \int_0^{T_i} \left(\sum_M W_m(u) \right) du \quad (1)$$

若对于 m 用户, 其 ON 和 OFF 状态的时间满足 Pareto 分布, 则其分布如式(2)和式(3)所示。

$$F_{m-\text{on}}(t) = 1 - \left(\frac{t}{t_{\min m-\text{on}}} \right)^{-\alpha_{m-\text{on}}} \quad (2)$$

$$F_{m-\text{off}}(t) = 1 - \left(\frac{t}{t_{\min m-\text{off}}} \right)^{-\alpha_{m-\text{off}}} \quad (3)$$

其中, $t_{\min m-\text{on}}$ 和 $t_{\min m-\text{off}}$ 分别是 ON 和 OFF 状态下 t 最小的可能正值, $\alpha_{m-\text{on}}$ 和 $\alpha_{m-\text{off}}$ 分别反映了 ON 和 OFF 状态下分布曲线的重尾程度^[12]。对同样的业务而言, 假设用户具有相同的 Pareto 分布, 则根据文献[13]可以得到: 当 T 足够大时, $W_M^{\text{all}}(T_i)$ 具有统计特性。

$$TM \frac{\mu_{on}}{\mu_{on} + \mu_{off}} t + T^H \sqrt{M} k B_H(t) \quad (4)$$

其中, $\mu_{on/off}$ 为 ON/OFF 时间分布的期望, $B_H(t)$ 为一分形布朗过程, k 为一有限正数, 其决定于时间分布期望 μ 、重尾程度 α 及慢变函数 $L(t)$, 对 Pareto 分布, 其可由式(5)和式(6)决定。

$$k = \left[\frac{2\mu_{max}^2 a_{min}}{(\mu_{on} + \mu_{off})^3 \Gamma(4 - \alpha_{min})} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$a = \frac{(t_{min})^\alpha (\Gamma(2 - \alpha))}{\alpha - 1} \quad (6)$$

其中, $a_{min} = \min(a_{on}, a_{off})$, $\mu_{max} = \max(\mu_{on}, \mu_{off})$, $\alpha_{min} = \min(\alpha_{on}, \alpha_{off})$ 。

式(4)也可以用式(7)进一步说明。

$$\lim_{M \rightarrow \infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{W_M^{all}(Tt) - TM \frac{\mu_{on}}{\mu_{on} + \mu_{off}} t}{T^H \sqrt{M}} = k B_H(t) \quad (7)$$

其中, 均值 $TM(\mu_{on}/\mu_{on} + \mu_{off})t$ 体现了用户数量和时间累积所带来的业务量变化, 而业务突发性变化是由分形布朗过程 $kB_H(t)$ 引起的。因而从式(7)可以看到, 基于 ON/OFF 模型的无线网络业务符合分形布朗特性^[14], 表现出网络的自相似性, 用来描述当前参量的自相似程度的 Hurst 参数 H 为

$$H = (3 - \alpha_{min}) / 2 \in \left(\frac{1}{2}, 1 \right) \quad (8)$$

其中, α_{min} 越小, Pareto 分布的拖尾现象越严重, 则相应的 Hurst 参数越大, 网络通信过程的自相似程度就越高。

对于式(4)所描述的通信过程 $W_M^{all}(Tt)$, 由于其是平稳过程, 计算 $W_M^{all}(1)$ 的期望可以获得该过程的平均输入缓存系统的速率 ν 为

$$\nu = E(W_M^{all}(1)) = M \frac{\mu_{on}}{\mu_{on} + \mu_{off}} \quad (9)$$

同时反映其突发波动相对程度的标准差系数 $V\sigma$ 为

$$V\sigma = \frac{\sqrt{\text{var}(W_M^{all}(1))}}{E(W_M^{all}(1))} = \frac{k\sqrt{M}}{\nu} = \frac{k}{\sqrt{M}} \frac{\mu_{on} + \mu_{off}}{\mu_{on}} \quad (10)$$

图 1~图 3 分别表示了移动语音、视频、数据业务采用本建模方法后在相同服务范围及条件下的流量状况, 可以看到, 数据业务的自相似程度较高, 自相似程度最低的是 IP 语音业务。

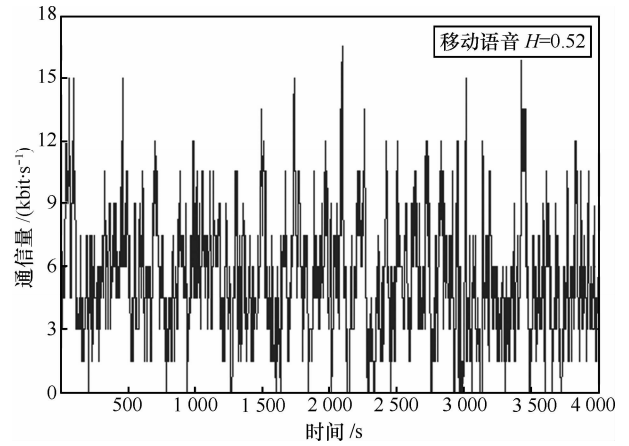


图 1 IP 语音业务

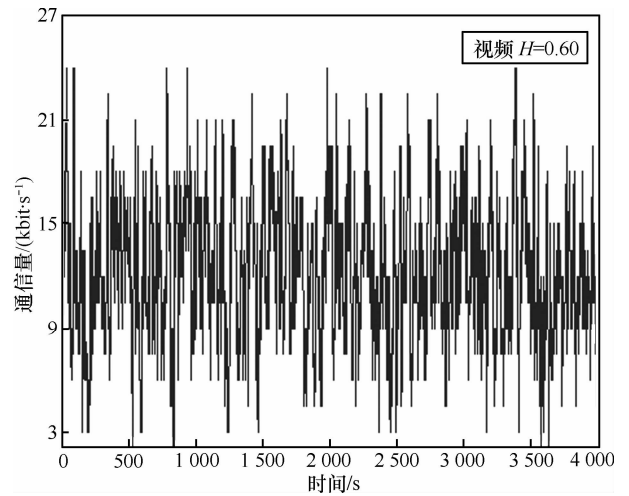


图 2 视频业务

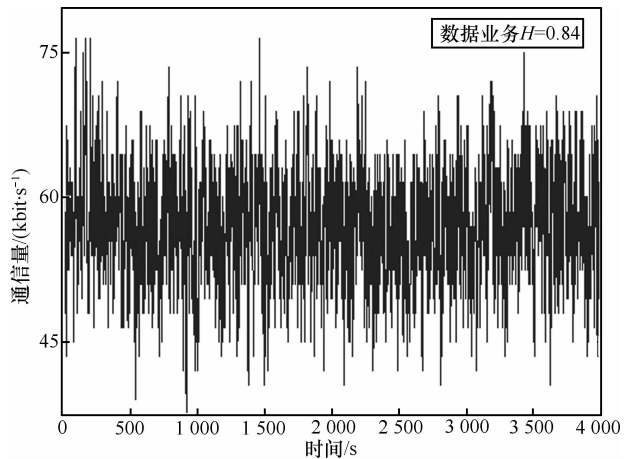


图 3 数据业务

2.3 服务带宽取定

下面来讨论自相似系统服务带宽和溢出界限、时延及抖动需求之间的关系, 设在一段时间 $[t, t + \tau]$, 系统的平均服务能力为 C 并采用 FIFO 的服务策略, 则此时基站缓存队列的长度为 $X(t)$ 。

$$\begin{aligned}
 X(t) &= \sup_{\tau \geq 0} [W_M^{\text{all}}(t+\tau) - W_M^{\text{all}}(t) - C\tau] \\
 &= \sup_{\tau \geq 0} [(\nu - C)\tau + \nu V \sigma (B_H(t+\tau) - B_H(t))] \\
 &= \sup_{\tau \geq 0} [(\nu - C)\tau + \nu V \sigma \Delta B_H(t)] \quad (11)
 \end{aligned}$$

由于 $B_H(t)$ 为分形布朗过程, $\Delta B_H(t)$ 具有平稳增量, 且服从均值为 0、方差为 τ^H 的正态分布。对于式(12), 令 $t = 0$, 由于 $B_H(0) = 0$, 则对系统的累积流量有

$$X_\tau = \sup_{\tau \geq 0} [(\nu - C)\tau + \nu V \sigma B_H(\tau)] \quad (12)$$

若基站接纳系统的缓存大小为 b , 则系统的溢出概率 ε 为

$$\varepsilon = P(X_\tau > b) \quad (13)$$

下面应用 Norros 的研究定理^[14,15]来求解无线通信基站系统溢出界限对于自相似业务的带宽服务需求。首先溢出概率 ε 满足

$$\varepsilon = P(X_\tau > b) \geq \max_{\tau \geq 0} [P(W_M^{\text{all}}(\tau) > C\tau + b)] \quad (14)$$

对于分形布朗过程 $B_H(t)$, $B_H(1)$ 服从标准高斯分布, 且 $B_H(t) = t^H B_H(1)$, 则有

$$\bar{\Phi}(y) = P(B_H(1) > y) \quad (15)$$

将式(15)做变量替换代入式(14)可得

$$\varepsilon \geq \max_{\tau \geq 0} \left[\bar{\Phi} \left(\frac{(C - \nu)\tau + b}{\nu V \sigma \cdot \tau^H} \right) \right] \quad (16)$$

对上式求导可知, 当 $\tau = \frac{Hb}{(1-H)(C-\nu)}$ 时, 不等式右边达到最大值, 由于要保证服务质量, 因此对 ε 取最小值, 则有

$$\varepsilon = \bar{\Phi} \left(\frac{1}{\nu V \sigma} \cdot \left(\frac{C - \nu}{H} \right)^H \cdot \left(\frac{b}{1 - H} \right)^{1-H} \right) \quad (17)$$

需要注意的是, 与传统研究不同, 这里不对高斯分布进行理论近似处理, 这是因为目前的工业级别对其的计算均已达到较高精度, 若采用理论近似会导致最终结果的偏差。根据式(17)可以得到满足溢出概率需求的服务带宽为

$$C(\varepsilon, H) = \nu + H \left[\left(\frac{b}{1 - H} \right)^{H-1} \nu V \sigma \bar{\Phi}^{-1}(\varepsilon) \right]^{\frac{1}{H}} \quad (18)$$

下面求解队列的平均长度、时延及抖动之间的关系, 由式(12)和式(17)可知, 对于输入缓存的随机变量 X_τ , 其的概率累积分布 $F(X_\tau < x)$ 为

$$F(X_\tau < x) = \Phi \left(\frac{1}{\nu V \sigma} \cdot \left(\frac{C - \nu}{H} \right)^H \cdot \left(\frac{x}{1 - H} \right)^{1-H} \right) \quad (19)$$

可由式(19)计算其概率分布为

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \frac{1}{\nu V \sigma} \cdot \left(\frac{C - \nu}{H} \right)^H \cdot \left(\frac{x}{1 - H} \right)^{-H} \cdot \\
 &\quad \phi \left(\frac{1}{\nu V \sigma} \cdot \left(\frac{C - \nu}{H} \right)^H \cdot \left(\frac{x}{1 - H} \right)^{1-H} \right) \quad (20)
 \end{aligned}$$

之后对于队列长度, 可求得其期望, 即平均队列长度为

$$\begin{aligned}
 B = E(X_\tau) &= \int_0^b x f(x) dx \\
 &= K_1 K_2^H \int_0^b x^{K_2} e^{-\frac{(K_1 K_2^{-K_2} x^{K_2})^2}{2}} dx \quad (21)
 \end{aligned}$$

其中, $K_1 = \frac{1}{\nu V \sigma} \cdot \left(\frac{C - \nu}{H} \right)^H$, $K_2 = 1 - H$, 采用第 2 类欧拉积分处理上式可得

$$B = 2^{\frac{1}{2K_2} - \frac{1}{2}} K_1^{-\frac{1}{K_2}} K_2 \cdot \gamma \left(\frac{1}{2K_2} + \frac{1}{2}, \frac{1}{2} (K_1 K_2^{-K_2} b^{K_2})^2 \right) \quad (22)$$

γ 为不完全伽马函数, 则系统平均时延 T_d 为

$$T_d = B / C \quad (23)$$

系统的平均时延抖动 T_j 为

$$T_j = D(X_\tau) / C^2 = (E(X_\tau^2) - B^2) / C^2 \quad (24)$$

其中,

$$\begin{aligned}
 E(X_\tau^2) &= \int_0^b x^2 f(x) dx \\
 &= 2^{\frac{1}{2K_2} - \frac{1}{2}} \left(K_1^{-\frac{1}{K_2}} K_2 \right)^2 \gamma \left(\frac{1}{K_2} + \frac{1}{2}, \frac{1}{2} (K_1 K_2^{-K_2} b^{K_2})^2 \right) \quad (25)
 \end{aligned}$$

从式(23)及式(24)同样可以获得满足时延及抖动需求的服务带宽 $C(T_d, H)$ 及 $C(T_j, H)$ 。

图 4 和图 5 显示了对于平均输入系统速率为 45 kbit/s 的数据业务、服务用户数为 60 时, 基站服务速率同 Hurst 参数及 QoS 参数(溢出概率和时延)之间的关系。这里需要注意与其他研究不同的是,

由于基站需要对于实时用户进行服务，因此需要限定有限缓存这样的条件，而不是取缓存无限大。从图中可以看到，随着服务速率的增加，其相关的 QoS 表现越来越好。对溢出而言，在 Hurst 参数较高和较低的情况下，其的溢出概率较高，在中间值时得到最佳抑制溢出的表现。对时延而言，Hurst 参数越大，其时延越低，同时经研究发现抖动也具有类似的性质。这说明 Hurst 参数会在同样服务带宽下，对 QoS 性能造成影响，下面就依据这些性质提出具有可有效提高资源利用率能力的自主网络 CAC 策略。

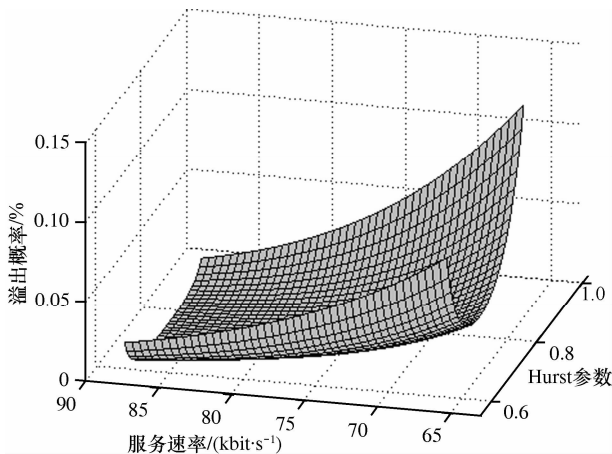


图 4 服务带宽与溢出概率及 Hurst 参数的关系

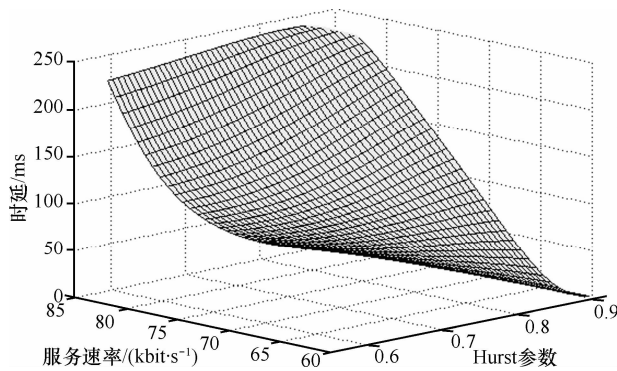


图 5 服务带宽与时延及 Hurst 参数的关系

3 SS-CAC 策略

由于无线业务具有时变特性和用户依存性，因此在不同时间段表现出网络的业务流量突发状况不同，呈现不同的网络自相似性，针对这种情况，本文提出 SS-CAC 策略，该策略基于 Hurst 参数及 QoS 需求进行服务带宽自主优化，由于基于自相似特性，因此与传统的优化参数不同，其具有大尺度时间自主特性，并能应对突发性较强的未来无线分

组业务，诸如 IP 电话、视频及高速率下载等。策略流程如图 6 所示。

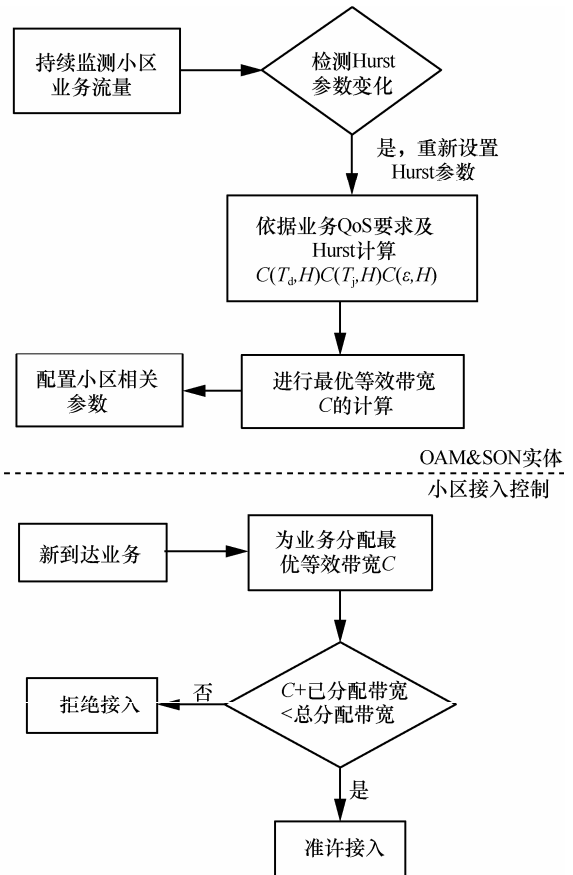


图 6 SS-CAC 策略流程

该策略首先通过集中式 OAM/SON 功能实体对小区的业务流量进行监测，从而对 Hurst 参数进行检测，当发现 Hurst 参数变化时，则依据各类型业务的 QoS 及当前所变化的 Hurst 值，采用上文描述的方法计算相关指标的等效带宽，并得出各业务的最优带宽，然后更新小区级相关控制参数，小区根据新到达业务的类型，为其分配所更新的等效带宽，之后执行一般 CAC 流程。

该策略需根据网管监控的小区业务流量状态检测 Hurst 参数，主要的估计方法有基于时域的 V-T 法和 R/S 分析法，基于频域的 Whittle 估计法及基于小波分析的 EM 估计法。考虑自主特性实施的低复杂度要求^[4]，本文采用的是 V-T 法，即若 X 是自相似过程，则当 $m \rightarrow \infty$ 时有 $\text{var}(X^{(m)}) \sim am^{2(1-H)}$ ，V-T 法就是根据该性质，通过方差—时间曲线拟合的方法估计 Hurst 参数。

对于最优带宽的寻求，这里的目标是根据 Hurst 参数确定满足 QoS 需求的最小带宽，以降低带宽使

用度、提升系统接纳容量为目标，因此建立最优求解模型为

$$\begin{aligned} \min C(H) \\ \text{s.t. } g_1(C) = \varepsilon' - \varepsilon \geq 0 \\ g_2(C) = T_d' - T_d \geq 0 \\ g_3(C) = T_j' - T_j \geq 0 \end{aligned} \quad (26)$$

其中， $C(H)$ 表示受 Hurst 参数影响的业务服务带宽，优化目标是保证该带宽的节省，从而可以准入更多的用户。 $g_1(C)$ 、 $g_2(C)$ 、 $g_3(C)$ 分别是带宽对于溢出、时延和抖动的约束，即服务带宽必须保证业务的服务质量。 ε' 、 T_d' 、 T_j' 为这些 QoS 的要求值， ε 、 T_d 、 T_j 为式(17)、式(23)及式(24)所计算的 QoS 参数。对于上述一般约束优化问题，采用 Rockafellar 提出的乘子 PHR 算法^[16]求解，算法如图 7 所示。

```

i = 1 // i 为当前迭代次数
C0 = v // 以输入速率为带宽初始迭代值
σ0 = 2 // 初始罚因子
λ̄ = (0.001 0.1 0.1)T // 初始乘子向量
ϑ = 0.8, η = 2 // 算法实参
ξ = 10-5 // 终止近似误差

Step1 求解增广拉格朗日函数
ψ(C, λi, σi) = C + 1/2σi ∑n=13 ([min{0, σign(C) - (λi)n}]2 - (λi)n)
min ψ(C, λi, σi) → Ci

Step2 检验终止条件
βi = (∑n=13 [min{gn(Ci), (λi)n / σi}]2)1/2
if βi ≤ ξ
    C* = Ci → min C(H) // 取最优解
Break and end
else
    Go to Step3

Step3 更新罚因子
if βi ≥ ϑβi-1
    σk+1 = ησk
else
    σk+1 = σk

Step4 更新乘子并重新迭代
for n = 1:3
    (λi+1)n = max{0, (λi)n - gn(Ci)}
i = i + 1
Go to Step1
    
```

图 7 PHR 算法求解 C*

从策略流程及带宽取定算法中可以发现，SS-CAC 相较传统 CAC 主要有以下 2 个优点。

1) 长相关自主特性。由各研究工作及前面的分析已知，未来无线网络趋于 IP 化，业务流量呈现自相似性，造成大时间尺度上的突发特性，从而给网络的性能带来影响。SS-CAC 策略通过网管系统对于业务流量的监控来测量当前流量的 Hurst 参数，之后依据此参数的性质，计算当前适宜的最优等效带宽，并配置小区相关参数，不需要人工操作干预，具有自主管理的特性。

2) 接纳容量提升。在 SS-CAC 策略中对于等效带宽的计算不仅考虑了自相似特性，还联系了其与业务 QoS 要求之间的关系，这比传统 CAC 以保证最低 QoS 服务为目标的单一等效带宽更能提升系统接入容量。同时，由于服务带宽计算时基于有限缓存进行，这就避免了由于假设缓存趋于较大或者无穷大而引起的业务延时。

4 仿真结果

首先建立用户数为 M ，总带宽为 20 MB 的基站服务模型，基站服务下每用户采用 ON/OFF 模型分别进行 IP 语音、视频及数据业务，3 种业务遵循表 1 的 QoS 服务标准^[17]。

业务种类	T_d' / ms	T_j' / ms	ε'
IP 语音	100	30	10^{-2}
视频	150	50	10^{-3}
数据	300	100	10^{-4}

与一些研究不同^[10,18]，为了模拟实际现网的状况，即业务量突发性存在变化，这里的 ON/OFF 模型中一些参数并不固定，进行随机变化，变化范围如表 2 所示。

业务种类	mean ν per users/kbit·s ⁻¹	Normalized μ_{on}	Normalized μ_{off}	Normalized t_{min}
IP 语音	12.2	0.034~0.044	0.945~0.955	0.03
视频	64	0.090~0.108	0.880~0.898	0.08
数据	150	0.650~0.705	0.305~0.360	0.3

图 8 显示了在 $M=60$ 时，SS-CAC 与传统 CAC 在带宽使用上的对比，这里的带宽占比是指业务对基站总带宽的所占用比例。从图中可以看到，SS-CAC 对于语音、视频及数据 3 种业务的带宽使

用率相较于传统 CAC 要低，特别是对于视频及数据业务较为明显，这是因为对视频业务而言，由于其 Hurst 参数在[0.5, 1]区间的中部范围变化，由上面的分析可知，此时的服务质量要求最容易满足，因此带宽节约效果较好；而对于数据业务而言，由于其本身带宽需求大，因此依据自相似约束取定最优带宽后的效果更明显。

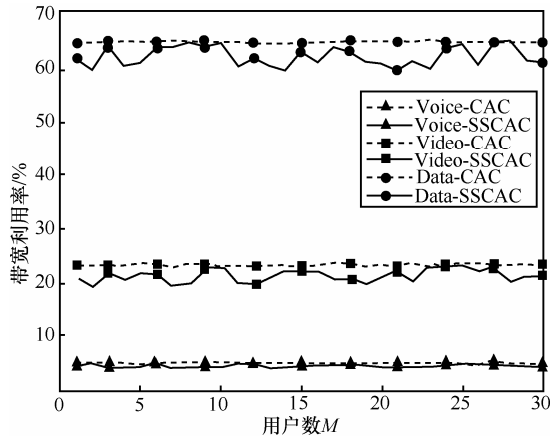


图 8 SS-CAC 与传统 CAC 的带宽占用对比

由于带宽使用率的下降，系统的接纳能力会变得更强大，图 9 显示了不同用户数存在时，SS-CAC 同 CAC 在呼叫阻塞率方面的比较，从图中可以看出高负载下 3 种业务的呼叫阻塞率在 SS-CAC 策略下均发生了下降，并且业务量越大，SS-CAC 优化的效果越明显。同时，其也降低了高负载业务准入情况下对网络中已存用户业务的影响。图 10 显示了不同用户数存在时采取 SS-CAC 和 CAC 策略下业务掉话率的情况，从图中可以看到，在 SS-CAC 策略下，话音业务掉话率同 CAC 一样可以得到有效保证，视频业务和数据业务的掉话率由于 Hurst 参数优化的影响同 CAC 相比发生明显下降。

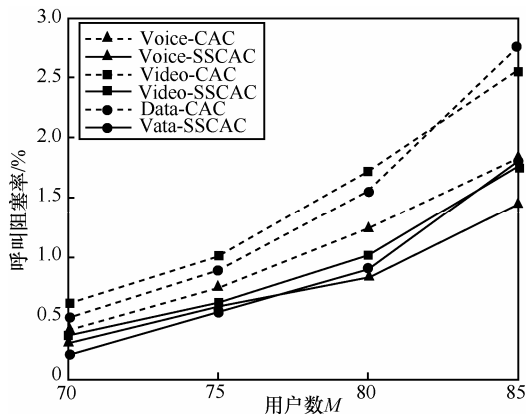


图 9 SS-CAC 与传统 CAC 的呼叫阻塞率对比

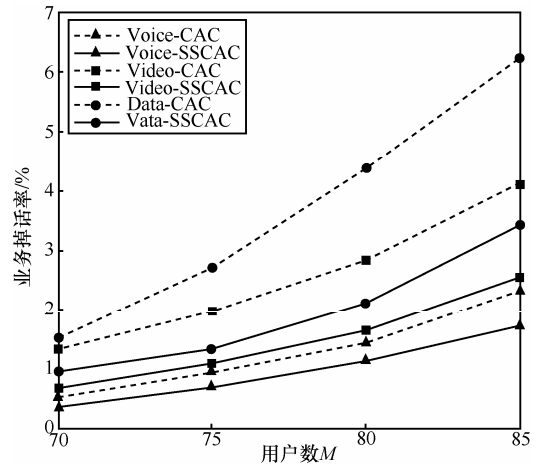


图 10 SS-CAC 与传统 CAC 的业务掉话率对比

5 结束语

本文从无线网络业务的自相似性分析出发，对自相似系数、服务质量及服务带宽之间的关系进行理论计算推导，分析它们的关系特征，并以此为基础提出 SS-CAC 策略，最后对该策略进行仿真实验，通过仿真结果发现 SS-CAC 策略有效降低了业务在网络中的带宽使用率、业务阻塞率和掉话率。更进一步的研究工作主要从以下 2 个方面展开：1) 考虑更多的业务行为，如切换转移概率带来的影响，从而形成考虑呼叫切入和小区新入的全面准入机制，丰富理论成果；2) 以切换和多基站联合优化的角度出发，研究多用例之间的协同 CAC 策略。

参考文献：

- [1] 3GPP TR 36.902. LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and Self-optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions[S]. 2011.
- [2] NGMN PROJECT 12. Use Cases Related to Self Organising Network, Overall Description[R]. 2007.
- [3] INFSO-ICT-216284 SOCRATES D2.1. Use Cases for Self-Organising Networks[R]. 2008.
- [4] INFSO-ICT-216284 SOCRATES D5.9. Final Report on Self-Organisation and Its Implications in Wireless Access Networks[R]. 2010.63-69.
- [5] LELAND W E, TAQQU M S, WILLIGER W, et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version)[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1):1-15.
- [6] SONG S B, JOSEPH K, TANG B H. Some results on the self-similarity property in communication networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2004, 52(10):1636-1642.
- [7] 田畅, 王海, 郑少仁. 基于用户行为的网络流量模型及自相似性分析[J]. 通信学报, 2000, 21(9):19-25.
TIAN C, WANG H, ZHENG S R. Model of network traffic based on user behavior and its self-similarity[J]. Journal on Communications, 2000, 21(9):19-25.

[8] 张兴, 颜志, 肖静等. 无线网络业务行为: 特性分析与行为建模[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(5):22-27.
ZHANG X, YAN Z, XIAO J, *et al.* Traffic behavior in wireless networks characteristics analysis and behavior modeling[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(5): 22-27.

[9] LIU N Q, LU Z, GU X M. New degradation call admission control for increasing WCDMA system capacity[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2006, 17(4):750-754.

[10] SON V T, LAN L H, HAI N T. A fuzzy logic call admission control scheme in multi-class traffic cellular mobile networks[A]. 2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation(3CA)[C]. 2010. 330-333.

[11] 王兵, 叶栋, 丁炜. 适应自相似业务流量模型的 CAC 算法研究[J]. 通信学报, 2003, 24(5):121-128.
WANG B, YE D, DING W. A study of call admission control algorithm for self-similar traffic model[J]. Journal on Communications, 2003, 24(5):121-128.

[12] PRUTHI P, ERRAMILI A. Heavy-tailed on/off source behavior and self-similar traffic[A]. IEEE International Conference on Communications (ICC'95)[C]. Seattle, Washington, USA, 1995. 445-450.

[13] WILLINGER W, TAQQU M S, SHERMAN R, *et al.* Self-similarity through high-variability: statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 5(1):71-86.

[14] NORROS I. On the use of fractional brownian motion in the theory of connectionless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13(6):953-962.

[15] NORROS I. A storage model with self-similar input[J]. Queueing Systems, 1994, 16(3-4):387-396.

[16] ROCKAFELLAR R T. Lagrange multipliers and optimality[J]. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) Review, 1993, 35(2): 183-238.

[17] 3GPP TS 23.203. Digital Cellular Telecommunications System (Phase

2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Policy and Charging Control Architecture[S]. 2012.

[18] BAE S J, CHOI B G, LEE J, *et al.* A resource-estimated call admission control algorithm in 3GPP LTE system[A]. ICCSA 2009[C]. Seoul, Korea, 2009. 250-260.

作者简介:



丰雷 (1987-), 男, 北京人, 北京邮电大学博士生, 主要研究方向为无线网络自主管理与优化。



李文璟 (1973-), 女, 山西太谷人, 北京邮电大学副教授, 主要研究方向为通信软件与网络管理。



邱雪松 (1973-), 男, 江西上饶人, 北京邮电大学教授, 主要研究方向为通信软件与网络管理。