

分层移动 IPv6 中呼叫接入控制的动态优化^①

黄国盛^{②*} 陈志刚^{③*} 赵 明* 李庆华* 梁平原**

(* 中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

(** 吉首大学物理科学与信息工程学院 吉首 416000)

摘 要 对分层移动 IPv6 中的无线资源管理问题进行了研究,提出了一种基于动态阈值的呼叫接入控制(DT-CAC)策略。DT-CAC 通过建立小区呼叫接入的马尔可夫排队模型,根据网络负载状态的变化对切换呼叫和新呼叫的接入阈值进行动态调整,在减少切换呼叫掉线率的同时限制新呼叫阻塞率的增加,从而在切换呼叫掉线率和新呼叫阻塞率之间取得平衡。大量仿真结果表明,DT-CAC 与现有协议相比,在减小新呼叫阻塞率和切换呼叫掉线率以及提高资源利用率等方面具有较好的性能。当呼叫流量较大时,DT-CAC 的新呼叫阻塞率和切换呼叫掉线率可以减少约 6%左右,资源利用率可以达 85%以上。

关键词 服务质量,呼叫接入控制,分层移动 IP,无线网络

0 引 言

在移动 IP 中为实时业务提供服务质量(quality of service, QoS)支持是一项挑战性的工作。其中,如何有效地实现呼叫接入控制(call admission control, CAC)是需要解决的一个关键问题^[1,2]。CAC 是无线资源管理的重要组成部分,是减少网络拥塞、保证服务质量的重要机制^[3,4]。

无线呼叫连接可以分成两大类:新呼叫和切换呼叫。与这两类呼叫相对应的两个重要的连接级 QoS 参数是新呼叫阻塞率(new call blocking probability, CBP)和切换呼叫掉线率(handoff call dropping probability, HDP)。对移动用户而言,中断一个正在进行的呼叫比阻塞一个新呼叫更为敏感,所以在呼叫接入控制中往往给切换呼叫更高的优先级^[4,5]。

减小 HDP 和 CBP 并提高系统资源利用率是 CAC 的目标,但现有 CAC 方案在实现优先接纳切换呼叫和减小切换呼叫掉线率时,往往造成系统资源的浪费,进而导致新呼叫阻塞率显著上升。

针对移动计算环境中无线资源的紧缺和现有方案的不足,我们进行了寻求能够较好地适应无线网络呼叫流量变化的 CAC 动态优化方案的研究,提出

了一种适用于分层移动 IPv6^[6] (hierarchical mobile IPv6, HMIPv6)的基于动态阈值的呼叫接入控制(dynamic threshold-based call admission control, DT-CAC)策略。DT-CAC 通过建立无线呼叫接入的马尔可夫排队模型,根据各小区的负载状态对切换呼叫和新呼叫的接入阈值进行动态调整以适应网络流量的变化。通过限定 HDP 和 CBP 的比例关系,在减少 HDP 的同时,尽可能降低 CBP,在 HDP 和 CBP 之间取得平衡,同时提高系统资源的利用率。

1 相关工作

为了降低 HDP,一般采用在当前小区为切换呼叫预留部分资源的方案。文献[7]采用移动 IP 预留协议(mobile IP reservation protocol, MIR)方案为用户预留固定比例的带宽,根据预留的带宽大小进行呼叫接入控制,但 MIR 方案没有提出如何确定预留带宽大小的算法,并且该方案难以适应网络状态的动态变化。

文献[8]中提出的 CAC 方案预先设定一个 HDP 阈值 T_h ,当新呼叫到达时先估算系统的 HDP,只有当估算出的 HDP 不大于 T_h 才接纳该新呼叫,这样可优先满足切换呼叫的要求。但是这一方案可能会

① 国家自然科学基金(60873082),湖南省自然科学基金(07JJ6109),湖南省科技计划(S2008FJ3078)和湖南省高等学校科学研究(09C794)资助项目。

② 男,1969年生,博士生,副教授;研究方向:移动计算,网络服务质量;E-mail: hgs1999@163.com

③ 通讯作者, E-mail: czg@mail.csu.edu.cn
(收稿日期:2008-12-08)

造成满足 HDP 这一指标而使 CBP 很大,而且,当系统中移动用户较多时,估算出的 HDP 可能很难低于预设的阈值 T_h 。

Fang 等在文献[9]中提出了多种保护信道(guard channel, GC)方案。为优先接纳切换呼叫,每个小区专门为切换呼叫预留部分信道资源。其中,新呼叫限制(new call bounding, NCB)策略^[9]是 GC 方案的典型代表,其基本思想是:当小区中新呼叫数大于某个阈值 K 时,新呼叫将被阻塞,否则新呼叫被接纳。而对于切换呼叫,只有当小区的信道全部占用时才被拒绝。在 GC 方案中, HDP 的降低以 CBP 的提高为代价,如果为切换呼叫预留带宽过大,虽然 HDP 降低,但 CBP 快速上升造成系统连接级 QoS 整体性能的下降,而且部分保护信道可能被闲置,造成系统资源利用率低;反之,如果为切换呼叫预留带宽过小,虽然 CBP 下降,但是 HDP 上升,难以满足切换用户的 QoS 需求^[3]。

在基于保护信道的方案中,阈值的选取十分重要,但现有文献中很少提出计算阈值的依据和方法。文献[10]提出了一种基于 NCB 策略的自适应呼叫准入控制方案。该方案根据系统的状态向量、呼叫结束向量和呼叫转移矩阵^[10]周期性地计算各个小区可以接纳的最大新呼叫数阈值,然后按照 NCB 策略进行呼叫接入控制,该方案最大的优点是考虑了网络负载的变化。但是该方案要计算系统的呼叫转移矩阵,并根据呼叫转移矩阵和系统过载率求解理想系统状态^[10],当一个域中的小区个数较多时,计算较复杂。

2 系统模型分析

2.1 系统网络结构

我们提出的 DT-CAC 方案使用的网络模型如图 1 所示,每一个小区中有一个无线接入路由器(access router, AR),多个小区组成一个域,每个域中有一个移动锚点(mobility anchor point, MAP),MAP 负责所在域移动节点(mobile node, MN)的分层移动管理,AR、MAP 和 Internet 核心路由器(core router, CR)通过移动 IPv6 协议进行通信,形成一个 HMIPv6 结构。

驻留在 MAP 中的 QoS Server 进程负责收集从所在域各个小区发送给 MAP 的关于新呼叫和切换呼叫的统计信息,再根据收集到的相关数据动态计算各个小区的呼叫接入阈值。MAP 的容量是网络通

信的一个瓶颈,若 MAP 管理的域中各小区接纳的移动呼叫数量超出 MAP 的容量,则会出现拥塞。在进行呼叫接入控制时我们同时考虑了 MAP 和各小区的容量限制。

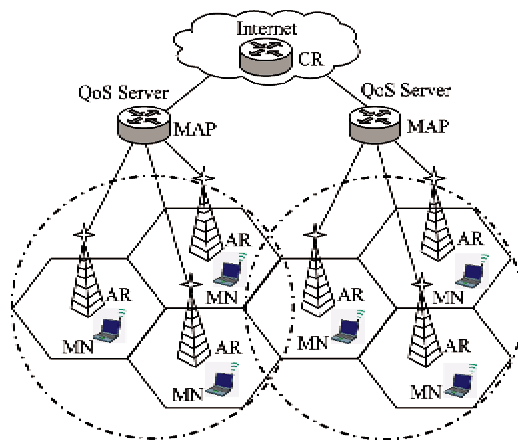


图 1 系统网络结构

2.2 系统呼叫模型分析

设每个域有 M 个小区,第 i ($i \in [1, M]$) 个小区的有效容量(effective capacity)为 C_i , C_i 为整数,代表该小区可以利用的系统资源。对于基于信道的无线系统(channel based system),小区有效容量就是该小区的信道数(如全球移动通信系统(GSM));而对于基于干扰的系统(interference based system),系统的容量为“软容量”(soft capacity)^[11,12]。

设每个小区新呼叫和切换呼叫的到达过程服从独立的泊松分布(poisson distribution),新呼叫和切换呼叫的服务时间服从负指数分布(negative exponential distribution)。在考察的时间段内第 i 个小区($i \in [1, M]$)新呼叫和切换呼叫到达率的均值分别为 λ_{ni} 和 λ_{hi} ,新呼叫和切换呼叫服务时间均值分别为 $1/\mu_{ni}$ 和 $1/\mu_{hi}$ 。则小区 i 的信道占用情况可以用一个二维马尔可夫链(Markov chain)来表示,系统的状态空间(state space)可表示为

$$X_i = \{(n_{1i}, n_{2i}) \mid n_{1i} \geq 0, n_{2i} \geq 0, n_{1i} + n_{2i} \leq C_i\}, \quad i \in [1, M] \quad (1)$$

其中, n_{1i}, n_{2i} 分别为第 i 个小区中接纳的新呼叫数和切换呼叫数。

为描述简便起见,先给出以下定义:

定义 1 新呼叫流量强度。为新呼叫到达率与新呼叫平均服务时间的乘积。若第 i 个小区的新呼叫流量强度用 ρ_{ni} 表示,则 $\rho_{ni} = \lambda_{ni}/\mu_{ni}$ 。

定义 2 切换呼叫流量强度。为切换呼叫到达

率与切换呼叫平均服务时间的乘积。若第 i 个小区的切换呼叫流量强度用 ρ_{hi} 表示, 则 $\rho_{hi} = \lambda_{hi}/\mu_{hi}$ 。

显然, 新呼叫流量强度和切换呼叫流量强度越大, 系统的负载越重。

按照新呼叫限制策略, 若规定小区 i 接纳的新呼叫数不能超某个规定的阈值 K_i , 则此时系统的状态空间可以表示为^[9]

$$X_i = \{(n_{1i}, n_{2i}) \mid 0 \leq n_{1i} \leq K_i, n_{2i} \geq 0, n_{1i} + n_{2i} \leq C_i\}, \quad i \in [1, M] \quad (2)$$

设 P_{nbi} , P_{hbi} 分别表示第 i 个小区的新呼叫阻塞率和切换呼叫掉线率, 则根据文献[9]可得

$$P_{nbi} = \frac{\sum_{n_{2i}=0}^{C_i-K_i} \frac{\rho_{ni}^{K_i}}{K_i!} \cdot \frac{\rho_{hi}^{n_{2i}}}{n_{2i}!} + \sum_{n_{1i}=0}^{K_i-1} \frac{\rho_{ni}^{n_{1i}}}{n_{1i}!} \cdot \frac{\rho_{hi}^{C-n_{1i}}}{(C-n_{1i})!}}{\sum_{n_{1i}=0}^{K_i} \frac{\rho_{ni}^{n_{1i}}}{n_{1i}!} \cdot \sum_{n_{2i}=0}^{C_i-n_{1i}} \frac{\rho_{hi}^{n_{2i}}}{n_{2i}!}} \quad (3)$$

$$P_{hbi} = \frac{\sum_{n_{1i}=0}^{K_i} \frac{\rho_{ni}^{n_{1i}}}{n_{1i}!} \cdot \frac{\rho_{hi}^{C-n_{1i}}}{(C-n_{1i})!}}{\sum_{n_{1i}=0}^{K_i} \frac{\rho_{ni}^{n_{1i}}}{n_{1i}!} \cdot \sum_{n_{2i}=0}^{C_i-n_{1i}} \frac{\rho_{hi}^{n_{2i}}}{n_{2i}!}} \quad (4)$$

显然, 这种基于阈值的 CAC 方案需解决的关键问题有: (1) 如何通过一种有效的方法来确定各小区的呼叫接入阈值; (2) CAC 方案如何在赋予切换呼叫较高的优先级的同时, 在 HDP 和 CBP 之间取得平衡; (3) CAC 方案如何适应网络负载的动态变化, 同时考虑到 MNs 的计算能力和能量储备等的限制, 应尽可能简化计算。

传统的呼叫接入控制方案往往着重考虑如何给切换呼叫更高的优先级, 尽可能减少 HDP, 但很少考虑如何限制 CBP 的增加和如何在 HDP 和 CBP 之间取得较好的平衡。在实际应用中, 并不一定要求 HDP 过分小, 只要满足系统的 QoS 要求即可^[13], 以提高系统资源的利用率。但是, 因中断一个正在进行的呼叫比阻塞一个新呼叫更为敏感, 显然, 对于小区 i ($i \in [1, M]$), P_{hbi} 不能大于 P_{nbi} 。

根据以上分析, 在 DT-CAC 方案中我们做出以下约束:

$$P_{hbi} \leq \beta P_{nbi}, \quad 0 < \beta < 1, \quad i \in [1, M] \quad (5)$$

从式(5)可以看出, 参数 β 越小, 第 i 个小区的切换呼叫掉线率 P_{hbi} 的值就越小, 相当于切换呼叫的优先级越高。改变式(5)中的参数 β 的值就相当于改变切换呼叫的优先级, 这一结论在后面的仿真实验中将可以得到证实。

因小区的呼叫接入请求分成新呼叫和切换呼叫两大类, 假设将小区 i 的有效容量 C_i 逻辑上分成两部分, 其中一部分的容量为 C_{ni} , 另一部分的容量为 C_{hi} , 分别用来接纳新呼叫和切换呼叫。这时系统可简化为两个一维马尔可夫子系统, 这两个子系统的状态空间可分别表示为

$$X_{ni} = \{n_{1i} \mid 0 \leq n_{1i} \leq C_{ni}\}, \quad i \in [1, M] \quad (6)$$

$$X_{hi} = \{n_{2i} \mid 0 \leq n_{2i} \leq C_{hi}\}, \quad i \in [1, M] \quad (7)$$

其中 C_{ni} 和 C_{hi} 满足以下关系:

$$C_{ni} + C_{hi} = C_i, \quad i \in [1, M] \quad (8)$$

X_{ni} 和 X_{hi} 分别对应于新呼叫和切换呼叫的状态, 相应地, 系统的状态转移图如图 2 所示。

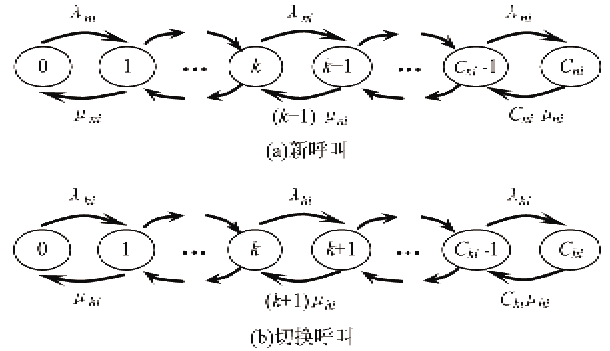


图 2 系统状态转移图

设 $T_{ni}(m_1; m_2)$, $T_{hi}(m_1; m_2)$ 分别表示第 i 个小区 ($i \in [1, M]$) 新呼叫从状态 (m_1) 转移到状态 (m_2) 的概率迁移率 (probability transition rate) 和切换呼叫从状态 (m_1) 转移到状态 (m_2) 的概率迁移率, 则

$$T_{ni}(k; k+1) = \lambda_{ni} \quad (0 \leq k \leq C_{ni}-1) \quad (9)$$

$$T_{ni}(k+1; k) = (k+1)\mu_{ni} \quad (0 \leq k \leq C_{ni}-1) \quad (10)$$

$$T_{hi}(k; k+1) = \lambda_{hi} \quad (0 \leq k \leq C_{hi}-1) \quad (11)$$

$$T_{hi}(k+1; k) = (k+1)\mu_{hi} \quad (0 \leq k \leq C_{hi}-1) \quad (12)$$

设 $P_{ni}(k_1)$ 和 $P_{hi}(k_2)$ 分别为小区 i 接纳 k_1 个新呼叫和 k_2 个切换呼叫的稳态概率 (steady state probability), 根据式(9)至式(12)可得

$$\lambda_{ni}P_{ni}(k_1) = (k_1+1)\mu_{ni}P_{ni}(k_1+1) \quad (0 \leq k_1 \leq C_{ni}-1) \quad (13)$$

$$\lambda_{hi}P_{hi}(k_2) = (k_2+1)\mu_{hi}P_{hi}(k_2+1) \quad (0 \leq k_2 \leq C_{hi}-1) \quad (14)$$

分别从式(13)和式(14)根据递推法可得

$$P_{ni}(k_1) = \frac{\rho_{ni}^{k_1}}{k_1!} \cdot P_{ni}(0) \quad (1 \leq k_1 \leq C_{ni}) \quad (15)$$

$$P_{hi}(k_2) = \frac{\rho_{hi}^{k_2}}{k_2!} \cdot P_{hi}(0) \quad (1 \leq k_2 \leq C_{hi}) \quad (16)$$

由式(15)和式(16),根据正则性,可得

$$P_{ni}(k_1) = \rho_{ni}^{k_1} \cdot \left[k_1! \cdot \sum_{j=0}^{C_{ni}} \frac{\rho_{ni}^j}{j!} \right]^{-1}, 0 \leq k_1 \leq C_{ni} \quad (17)$$

$$P_{hi}(k_2) = \rho_{hi}^{k_2} \cdot \left[k_2! \cdot \sum_{j=0}^{C_{hi}} \frac{\rho_{hi}^j}{j!} \right]^{-1}, 0 \leq k_2 \leq C_{hi} \quad (18)$$

根据式(17)和式(18),第 i 个($i \in [1, M]$)小区的新呼叫阻塞率 P_{nbi} 和切换呼叫掉线率 P_{hbi} 分别为

$$P_{nbi} = P_{ni}(C_{ni}) = \rho_{ni}^{C_{ni}} \cdot \left[C_{ni}! \cdot \sum_{j=0}^{C_{ni}} \frac{\rho_{ni}^j}{j!} \right]^{-1} \quad (19)$$

$$P_{hbi} = P_{hi}(C_{hi}) = \rho_{hi}^{C_{hi}} \cdot \left[C_{hi}! \cdot \sum_{j=0}^{C_{hi}} \frac{\rho_{hi}^j}{j!} \right]^{-1} \quad (20)$$

设第 i 个($i \in [1, M]$)小区中接纳的新呼叫数和切换呼叫数的数学期望值分别为 $E[n_{1i}]$ 和 $E[n_{2i}]$, 则

$$\begin{aligned} E[n_{1i}] &= \sum_{k_1=0}^{C_{ni}} k_1 \cdot P_{ni}(k_1) \\ &= \sum_{k_1=1}^{C_{ni}} \frac{\rho_{ni}^{k_1}}{(k_1-1)!} \cdot P_{ni}(0) \\ &= \rho_{ni} [1 - P_{ni}(C_{ni})] = \rho_{ni} (1 - P_{nbi}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} E[n_{2i}] &= \sum_{k_2=0}^{C_{hi}} k_2 \cdot P_{hi}(k_2) \\ &= \sum_{k_2=1}^{C_{hi}} \frac{\rho_{hi}^{k_2}}{(k_2-1)!} \cdot P_{hi}(0) \\ &= \rho_{hi} [1 - P_{hi}(C_{hi})] = \rho_{hi} (1 - P_{hbi}) \end{aligned} \quad (22)$$

3 基于动态阈值的呼叫接入控制

3.1 CAC 动态阈值的计算

根据第 2 节给出的呼叫接入模型,由式(5)、(8)、(19)和(20),不难求出用于控制新呼叫和切换呼叫的阈值。每个域中各个小区的呼叫接入阈值由 MAP 计算。小区 i 的接入路由器每隔一定的时间

τ ,将该小区的新呼叫和切换呼叫统计信息发送给 MAP。然后,MAP 根据各个小区的负载情况动态计算小区 i 的呼叫接入阈值,并返回给小区的接入路由器。计算动态阈值的算法及有关参数描述如下:

// Pseudo code of computing dynamic threshold

// Input:

// λ_{ni} : Arrival rate for new call of cell i ;

// λ_{hi} : Arrival rate for handoff call of cell i ;

// $1/\mu_{ni}$: Average channel holding time for new call;

// $1/\mu_{hi}$: Average channel holding time for handoff call;

// C_i : effective capacity of cell i ;

// τ : time period for updating call admission threshold;

// M = number of cells in a domain;

// Output:

// T_{ni} : Call admission threshold for new call of cell i ;

// T_{hi} : Call admission threshold for handoff call of cell i ;

for (; ;)

{for ($i = 1$; $i \leq M$; $i++$) // there are M cells in a domain

{for ($j = 1$; $j \leq C_i$; $j++$)

{ $C_{hi} = j$;

$C_{ni} = C_i - j$;

compute P_{nbi} according to Eqn.(19);

compute P_{hbi} according to Eqn.(20);

If ($P_{hbi} \leq \beta P_{nbi}$)

break; } //find an appropriate threshold

$T_{ni} = C_{ni}$; $T_{hi} = C_{hi}$; // call admission threshold

}

for ($i = 1$; $i \leq M$; $i++$) // there are M cells in a domain

{Send the call admission threshold T_{ni} , T_{hi} to AR $_i$;

Delay (τ);

}

在算法中为小区 i ($i \in [1, M]$)选择呼叫接入阈值时,要求该小区的新呼叫阻塞率 P_{nbi} 和切换掉线率 P_{hbi} 满足式(5)的约束关系,目的是给切换呼叫更高的优先级。同时,每隔一定的时间间隔 τ 重新计算一次阈值 T_{ni} 和 T_{hi} ,使算法能够动态适应网络负载的变化。

3.2 基于动态阈值的呼叫接入控制

MAP 计算出各小区的动态呼叫接入阈值后发送给各个小区的 AR,由 AR 根据指定的阈值进行呼叫接入控制。小区 i ($i \in [1, M]$)的呼叫接入阈值

有两个:即 T_{ni} 和 T_{hi} ($T_{ni} + T_{hi} = C_i$), 分别用来作为小区 i 新呼叫和切换呼叫的接入阈值。根据计算出的阈值对新呼叫和切换呼叫同时进行阈值控制可实现在给切换呼叫较高优先级的前提下,防止 CBP 过高,在 HDP 和 CBP 之间取得较好的平衡。小区 i 的接入路由器进行呼叫接入控制的算法及相关参数描述如下:

```
// Pseudo code of Dynamic threshold based CAC
//  $T_{ni}$ : Call admission threshold for new call of cell  $i$ ;
//  $T_{hi}$ : Call admission threshold for handoff call of cell  $i$ ;
//  $C_a$ : number of accepted new call of cell  $i$ ;
//  $C_b$ : number of accepted handoff call of cell  $i$ ;
for( ; ; )
    {wait for a call request X from MNs;
    reload  $T_{hi}$  and  $T_{ni}$  //update call admission thresh-
old
    if (X is a new call request)
        {if (  $C_a + 1 \leq T_{ni}$  )
            {Send a CAC-Req message to MAP, and wait a
CAC-Response message from MAP;
            if (MAP can accept call request X)
                {accept;  $C_a = C_a + 1$ ; }
            else reject; }
        else reject; }
    else // X is a handoff call request
        {if (  $C_b + 1 \leq T_{hi}$  )
            {Send a CAC-Request message to MAP, and wait a
CAC- Response message from MAP;
            if (MAP can accept call request X)
                {accept;  $C_b = C_b + 1$ ; }
            esle reject; }
        else reject; }
}
```

当一个呼叫请求到达时,AR 首先重新装载新的切换呼叫和新呼叫的接入阈值,然后判断该呼叫的类型。如果小区中已接纳的该类呼叫的数量已达到了相应的接入阈值,则拒绝该呼叫。如果小区中已接纳的该类呼叫的数量没有达到相应的接入阈值,则 AR 向 MAP 发送一个 CAC-Request 消息,查询 MAP 的剩余容量,然后接入路由器 AR 根据 MAP 返回的 CAC-Response 消息决定是否接纳该呼叫。

4 仿真与性能分析

根据前面的分析,我们在 Red Hat Linux 环境中

通过 NS 2 对 DT-CAC 方案进行了仿真,并将仿真结果与保护信道策略中的 NCB 方案进行了比较。仿真中使用的网络结构如图 1 所示,设每个域有 3 个小区,每个小区的有效容量为 50,设 MAP 的有效容量为 180。在仿真中以其中一个小区作为研究对象。

4.1 参数 β 对 HDP 和 CBP 的影响

首先,保持小区的新呼叫流量强度 $\rho_n = 35$, 切换呼叫流量强度 $\rho_h = 16$ 不变,测量式(6)中的参数 β 对呼叫接入阈值 C_h 、切换呼叫掉线率 HDP 和新呼叫阻塞率 CBP 的影响。仿真得出参数 β 、 C_h 和 HDP 三者的关系如图 3 所示。从图 3 可以看出,当 β 减小时, C_h 增大,切换呼叫掉线率 HDP 减小。仿真中得到的几组具体数据如表 1 所示。

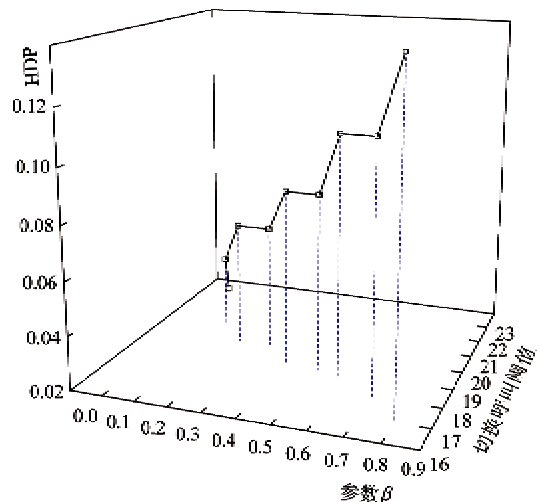


图 3 切换呼叫阈值、参数 β 与 HDP 的关系

表 1 β 对呼叫接入阈值和呼叫阻塞率的影响
($\rho_h = 16, \rho_n = 35$)

β	C_h	C_n	P_{hh}	P_{nb}
0.8	18	32	0.11181	0.17865
0.6	19	31	0.08606	0.19887
0.4	20	30	0.06441	0.21987
0.2	21	29	0.04678	0.24157

从表 1 可以看出,在 DT-CAC 中,在保持 ρ_n 和 ρ_h 不变的情况下, β 减小,则 C_h 增加,新呼叫接入阈值 C_n 减少,即用于接纳切换呼叫的容量增加,而用于接纳新呼叫的容量减小,因而 HDP 减小,CBP 增加。这是因为改变 β 就相当于调整切换呼叫的优先级, β 越小,切换呼叫的优先级越高。同时,在 DT-CAC 方案中,因为 HDP 和 CBP 的大小需满足式(5)的约

束关系,在给切换呼叫较高的优先级的同时,可避免因呼叫接入阈值选取不合理而导致预留给切换呼叫的资源过多,避免 CBP 过大,在 HDP 和 CBP 之间取得较好的平衡。

4.2 不同呼叫流量强度下的呼叫阻塞率

图 4 给出了新呼叫流量强度 $\rho_n = 20$, 切换呼叫流量强度 ρ_h 在 $[9, 48]$ 之间变化的情况下, DT-CAC 方案和 NCB 方案切换呼叫阻塞率的变化曲线。从图 4 可以看出,随着切换呼叫流量强度 ρ_h 的增加,两种方案的 HDP 都逐渐增加,但 DT-CAC 方案的 HDP 变化较为平缓,表现出更强的适应性。这是因为 DT-CAC 方案在 ρ_h 增加时,可以根据网络负载动态调整切换呼叫的接入阈值,从而限制 HDP 的增加。此外,从图 4 可知,对于 DT-CAC 方案,在不同的切换呼叫流量强度下,参数 β 越小, HDP 越小。这是因为 β 越小,根据 DT-CAC 方案得到的切换呼叫接入阈值 C_h 越大、分配给切换呼叫的资源越多。

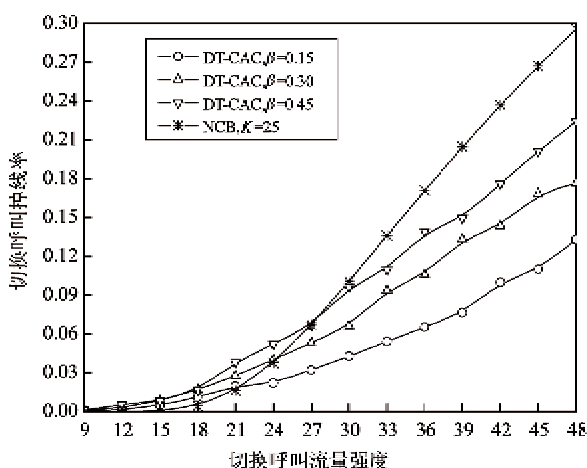


图 4 不同切换呼叫流量强度下的 HDP

图 5 为切换呼叫流量强度 $\rho_h = 15$ 时, DT-CAC 与 NCB 两种方案新呼叫阻塞率 CBP 与新呼叫流量强度 ρ_n 的关系。从图 5 可以看出,当 ρ_n 增加时两种方案的 CBP 都增加,但 NCB 方案 CBP 的增加更为显著。这是因为在 NCB 方案中,当 ρ_n 增加时,呼叫接入阈值保持不变,而 DT-CAC 方案可以根据网络负载的变化对呼叫接入阈值作出自适应调整,在选择阈值时通过限定 HDP 与 CBP 的比例关系,避免因阈值选择不合理而导致 CBP 过大,因而 DT-CAC 具有更好的性能。图 5 还显示,对于 DT-CAC 方案,在不同的新呼叫流量强度下,系数 β 越小, CBP 越大,进一步证实了前面分析得出的结论: β 越小,切换呼叫

的优先级越高,相应地,新呼叫的优先级越低。

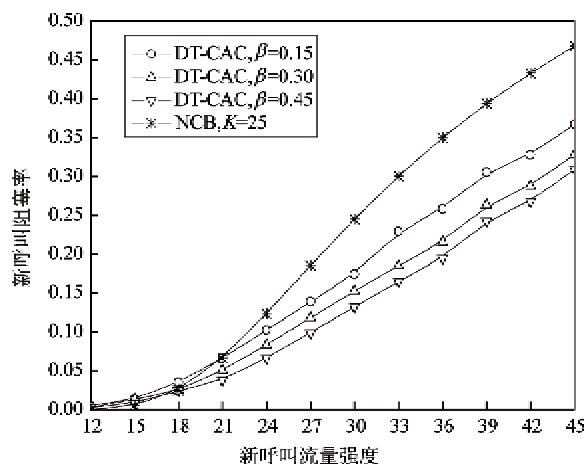


图 5 不同新呼叫流量强度下的 CBP

4.3 不同呼叫流量强度下的资源利用率

图 6 为切换呼叫流量强度 $\rho_h = 15$ 和在不同新呼叫流量强度下的系统资源利用率。从图 6 可以看出,当新呼叫流量强度 ρ_n 较小时, DT-CAC 和 NCB 两种方案资源利用率都较低,当 ρ_n 增加时,两种方案的利用率都增加,其中 DT-CAC 方案的资源利用率要高于 NCB 方案。这是因为当 ρ_n 较小时,系统的负载较轻,所以两种方案的资源利用率都比较低。当 ρ_n 增加时,有更多的系统资源被利用,但 NCB 方案不能适应网络负载的动态变化。而 DT-CAC 方案能够根据网络负载的变化动态调整呼叫接入阈值,充分利用可用信道来尽可能降低 HDP 和 CBP,从而提高系统资源利用率。

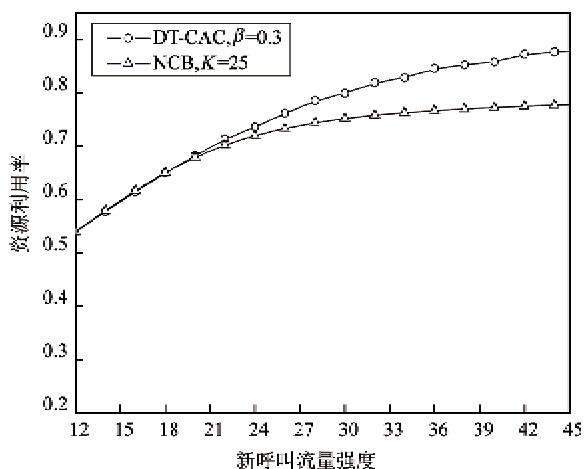


图 6 不同新呼叫流量强度下的资源利用率

5 结论

如何减小移动节点的新呼叫阻塞率和切换呼叫掉线率并提高系统资源利用率是移动 IP 网络中要解决的一个关键问题。传统的呼叫接入控制方案着重考虑如何给切换呼叫更高的优先级,通过给切换呼叫预留一定的信道来降低切换呼叫的阻塞率,这往往造成系统资源利用率的下降和新呼叫阻塞率的显著增加,并且不能适应网络负载的动态变化。针对这种情况本文提出了一种新的基于动态阈值的呼叫接入控制方案 DT-CAC,该方案通过限定 HDP 和 CBP 的比例关系,并根据无线网络呼叫流量的实时变化,动态调整呼叫接入阈值,在给切换呼叫较高的优先级和减少 HDP 的同时,尽可能限制 CBP 的增加,在 HDP 和 CBP 之间取得平衡。仿真结果表明,当呼叫流量强度发生变化时,与传统的呼叫接入控制策略相比,DT-CAC 方案具有较低的切换呼叫掉线率、较低的新呼叫阻塞率和较高的系统资源利用率,因而具有更好的性能。DT-CAC 对移动互联网中的无线资源管理、拥塞控制方案设计与优化和下一代无线网络中实现 QoS 支持具有较大的参考价值。

参考文献

- [1] Mehrdad M, Hamidreza B, Mostafa P. A new dynamic pricing scheme with call admission control to reduce network congestion. In: Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Okinawa, Japan, 2008. 348-352
- [2] 黄国盛,陈志刚,赵明等. 分层移动 IPv6 中一种链路层辅助的端到端 QoS 保证方案. 系统仿真学报, 2008, 20(21): 5852-5862
- [3] 马育锋,龚沈光,胡修林等. 蜂窝无线通信网络呼叫允许控制分析. 通信学报, 2006, 27(5):107-113
- [4] Dimitrios G, Georgios I, Panayotis G. Call admission control in wireless networks: probabilistic approach and efficiency evaluation. In: Proceedings of the Wireless Communications and Mobile Computing Conference, Crete Island, Greece, 2008. 712-717
- [5] 曹志研,季振洲,胡铭曾. 无线自组网中基于实时流的服务质量路由协议, 2008,18(2):126-131
- [6] Soliman H, Castelluccia C, Malki K E, et al. Hierarchical mobile IPv6 mobility management (HMIPv6) (RFC4140). Fremont: the Internet Engineering Task Force, 2005. 1-30
- [7] Gwendal L, Eric H. A predictive end-to-end QoS scheme in a mobile environment. In: Proceedings of the 6th IEEE Symposium on Computers and Communications, Hammamet, Tunisia, 2001. 534-539
- [8] Shiokawa S, Ishizaka M. Call admission scheme based on estimation of call dropping probability in wireless networks. In: Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Lisboa, Portugal, 2002. 2185-2188
- [9] Fang Y, Zhang Y. Call admission control schemes and performance analysis in wireless mobile networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2002, 51(2): 371-382
- [10] 王胜灵,侯义斌,黄建辉等. 层次移动 IPv6 中基于阈值的自适应呼叫准入控制. 软件学报, 2006, 17(9): 1996-2003
- [11] Chen H, Cheng C, Yeh H. Guard channel based incremental and dynamic optimization on call admission control for next-generation QoS-aware heterogeneous systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(5):3064-3082
- [12] 郭梯云,郭国扬,李建东等. 移动通信. 第三版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005. 284-285
- [13] 姜爱全,赵阿群. 无线/移动网络中自适应的接纳控制算法及性能分析. 通信学报, 2004, 25(6):147-156
- [14] Huang G S, Chen Z G, Zhao M, et al. New multicast scheme based on dynamic mobility prediction in mobile IPv6 Environment. *Journal of Central South University of Technology*, 2007, 14(3):386-392
- [15] 王晓东,张小东,李剑等. 分层软小区无线接入网及其性能分析. 高技术通讯, 2006, 16(5): 458-462

Dynamic optimization on call admission control in hierarchical mobile IPv6

Huang Guosheng^{* **}, Chen Zhigang^{*}, Zhao Ming^{*}, Li Qinghua^{*}, Liang Pingyuan^{**}

(^{*} School of Information Science & Engineering, Central South University, Changsha 410083)

(^{**} College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000)

Abstract

The paper studies on radio resource management in hierarchical mobile IPv6, and proposes a dynamic threshold-based call admission control (DT-CAC) scheme. Through establishing a Markov queuing model of wireless call admission, the proposed scheme can dynamically adjust the call admission thresholds of handoff call and new call according to various network load conditions, reduce the handoff call dropping probability (HDP), and restrict the increase of the new call blocking probability (CBP). Consequently, DT-CAC scheme can achieve a trade-off between HDP and CBP. The simulation results show that DT-CAC scheme outperforms the existing protocols in terms of HDP, CBP, and resource utilization. Under a high call traffic load, DT-CAC can reduce HDP and CBP by about 6%, achieve a high resource utilization ratio of more than 85%.

Key words: quality of service, call admission control, hierarchical mobile IP, wireless network