

GPRS 数据业务性能分析

朱畅华, 裴昌幸, 李建东, 闵范保

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘要: 基于 D2BMAP/D/1 排队模型分析 GPRS 数据业务在简化的一步接入模式以及不同服务速率下的性能, 包括 RLC/MAC 缓冲区队列的平均长度、小分组 (Min2Packet) 的平均时延和丢弃率等。分析结果表明: 当定时器 T₃₁₈₂ 时间变长时, 时延缩短, 丢弃率降低; 处于空闲状态的移动台产生新会话的概率越大, 时延越长; 缓冲区容量增加, 丢弃率明显降低。但是随着每个会话中分组呼叫数目的变化, 时延变化不显著。

关键词: 通用分组无线业务; D2BMAP/D/1; 性能分析; 时延; 丢弃率

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 05-0832-05

Performance Analysis of GPRS Data Services

ZHU Changhua, PEI Changxing, LI Jiandong, MIN Fanbao

(State Key Lab. of Integrated Services Networks, Xidian Univ, Xi. an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: A D2BMAP/D/1 queuing model is applied to analyzing the performance of GPRS data services, such as mean RLC/MAC queue length, mean delay and loss rate of min2packets, in which a simplified one2phase access procedure and different service rate are taken into account. The analysis results show that: Delay and loss rate are reduced with longer timer T₃₁₈₂; Delay is increased under the greater probability with which mobile station in the idle state generates new session; Loss rate is decreased with larger buffer size. But delay is changed unclearly with the number of packet calls in a session.

Key words: general packet radio service; D2BMAP/D/1; performance analysis; delay; loss rate

1 引言

GPRS 是从 GSM 过渡到 WCDMA 的重要阶段, 它提供的数据传输速率理论上可达 171.2kb/s, 为实现无处不在的个人通信又前进了一步。本文着重研究 GPRS 承载数据业务(以 IP 业务为例)的性能。目前大多数研究采用计算机仿真^[1], 也可建立数学模型进行分析。文献[2]通过引入突发因子(burstiness factor)的扩展爱尔兰公式来进行分析, 但基于传统的泊松到达的 Markov 模型进行研究难以适应新型数据业务的特点(如 IP 业务中会话的到达服从泊松分布, 但 IP 分组到达过程通常不是泊松分布)。文献[3]采用 MMPP(Markov modulated Poisson process)来表示 GPRS 数据业务, 基于 Markov 模型来研究。文献[4]采用 MMAP(Marked Markovian arrival process)作为到达过程进行排队分析。成批到达马尔可夫过程(Batch Markovian arrival process, BMAP)理论的研究使得 GPRS 有了一种新的分析方法。考虑到数据业务成批量到达, 文献[5]采用 D2BMAP/D/1 研究了 CDMA2000 承载数据业务的性能。文献[6]采用 BMAP 过程分析了 UMTS 的性能。本文基于 D2BMAP/D/1 排队模型在简化的 RLC/MAC 工作过程下, 分析了 GPRS 在不同的定时器大小、缓冲区容量、服务速率及建立(setup)速率等条件下的

时延、丢弃率性能, 从而给系统优化提供参考。

2 GPRS 空中接口及业务量模型

2.1 GPRS 空中接口

GPRS 在 GSM 的基础上增加了 SGSN(Serving GPRS support node)和 GGSN(Gateway GPRS support node)两个节点。在移动台内 IP 分组数据首先在子网汇聚协议(Subnetwork dependent convergence protocol, SNDCP)层转换成逻辑链路控制(LLC)帧。LLC 帧用户数据最大限制在 1520 字节, 另外有 40 字节的首部开销。这些 LLC 帧在 RLC/MAC 子层分解成无线链路控制(Radio link control, RLC)块, 一个 RLC 块(或无线块, Radio block)大约 20~50 个字节(随编码方法而不同), RLC 块经过编码后通过空中接口(Um 接口, 移动台与 BSS 通信)在 4 个连续的 GSM 帧中传送。每帧可给 GPRS 数据业务预留 1 个或多个时隙, 每个时隙可以被不同的 GPRS 数据业务共享, 也可与 GSM 语音业务共享时隙, 视具体的信道分配策略而定。

2.2 业务量模型

用户发起一个呼叫(包括语音、短消息、Web 浏览等), 在连接建立后一个会话开始。当用户完成所有信息交互后, 会话结束。一个会话通常由 1 个到多个分组呼叫(Packet call)组成。

如在会话过程中点击一个网页,即发起一个分组呼叫.从浏览网页的时间起,直到发起下一个分组呼叫(再次点击网页)之间的时间为分组呼叫到达间隔时间或阅读时间.在分组呼叫中常包含多个小分组(在 GPRS 中指一个无线块承载的数据量),小分组的大小由业务类型和低层传输协议决定.这里采用 UMTS TR 101 112 v31 2 0 中建议的业务量模型^[7]来描述上述会话过程,如图 1 所示.

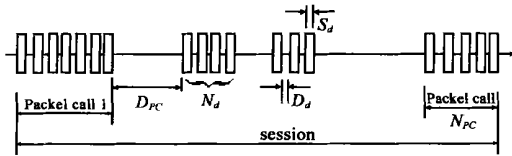


图 1 业务量模型示意图

图 1 所示的业务量模型包含的参数有:每一个会话中的分组呼叫数(N_{PC});分组呼叫到达间隔(D_{PC});分组呼叫中小分组的数目(N_d);分组呼叫中小分组的到达间隔(D_d);小分组的大小(S_d)等.这里假定^[6]:(1)会话到达过程是泊松过程;(2) N_{PC} 服从均值为 $L_{N_{PC}}$ 的几何分布;(3) D_{PC} 服从均值为 $L_{D_{PC}}$ 的几何分布;(4) N_d 服从均值为 L_{N_d} 的几何分布;(5) D_d 服从均值为 L_{D_d} 的几何分布;(6) S_d 服从截尾的 Pareto 分布,或者是固定长度,本文设为固定长度共 22 字节(RLC 无线块大小,采用 CSI 编码).

3 基于 D2BMAP/ D/ 1 的 GPRS RLC/ MAC 排队模型

BMAP 定义如下:设二维随机过程($N(t), J(t)$),其中 $N(t)$ 是一计数过程,若 $J(t)$ 为具有马尔可夫性的随机过程,它的状态是每次到达的批量,称二维随机过程($N(t), J(t)$) 为成批到达马尔可夫过程.称 $J(t)$ 为基本过程(Underlying process).对其离散化,即离散时间成批到达马尔可夫过程(Discrete time BMAP, D2BMAP).

根据 2.1.2 节中的业务量模型,可以得到移动台的状态转移图,如图 2 所示.其中,0(Off)是创建会话前的初始状态,1(Packet call)是处于分组呼叫期间的状态,2(Idle)是处于分组呼叫到达间隔时间(阅读时间)的状态.用 T_{radio_block} 表示无线块周期.令 B_0 为处于 Off 状态的移动台在 T_{radio_block} 时间内创建新会话的概率, $B_1 = T_{radio_block} / L_{N_d}$, $B_2 = T_{radio_block} / L_{D_{PC}}$ 是离散化后 N_d, D_{PC} 的几何分布参数.由于几何分布满足无记忆性,即马尔可夫性^[8],故状态为 {0, 1, 2} 的序列 $\{J_n\}$ 构成马尔可夫链.参照文献[7]中的取值,取 $L_{N_{PC}} = 5$,则其一步转移概率矩阵 D 为:

$$D = \begin{bmatrix} 1 - B_0 & B_0 & 0 \\ 0.2B_1 & 1 - B_1 & 0.8B_1 \\ 0 & B_2 & 1 - B_2 \end{bmatrix}$$

若 $N(t)$ 表示 RLC/MAC 缓冲区中的小分组数,则小分组的到达过程为 D2BMAP 过程,其基本过程为 $\{J_n\}$. D2BMAP 过程由一系列方阵 $\{D_k\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$ 确定, D_0 表示没有任何小分组

到达时的状态转移矩阵, $D_k(k > 0)$ 表示批量为 k 时的状态转移矩阵.为分析方便起见,令一个 IP 分组呼叫包含的小分组的数目要么为 0,要么为常数 N_w .则只有 D_0 和 D_{N_w} 有非零项,其余矩阵全为零(为具有普遍性,第 4 节的分析中仍讨论所有 D_k 分量).此时

$$D_0 = \begin{bmatrix} 1 - B_0 & 0 & 0 \\ 0.2B_1 & (1 - B_1)(1 - r) & 0.8B_1 \\ 0 & 0 & 1 - B_2 \end{bmatrix}, D_{N_w} = \begin{bmatrix} 0 & B_0 & 0 \\ 0 & (1 - B_1)r & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \end{bmatrix}$$

其中 r 为移动终端在分组呼叫期间 T_{radio_block} 内产生小分组的概率.设 D_d 的均值 $L_{D_d} = 0.125s$ (取值参考文献[7]),此时 $r = T_{radio_block} / 0.125$.

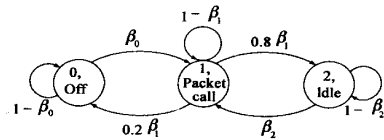


图 2 移动台的状态转换图

假定 RLC(Radio link control)工作于应答模式(Acknowledged mode),传输的数据大于 8 倍的 RLC/MAC 无线块,采用一步接入(One phase access)方法^[9].简化的状态转移如图 3 所示,共有 5 个状态,1/ 分组空闲模式(Packet idle mode)0/ 分组排队(Packet queuing)0/ 拒绝分组接入(Packet access reject)0、/ 一步分组接入竞争方案(One phase packet access contention resolution)0/ 分组传递模式(Packet transfer mode)0,详细的过程参见文献[9].

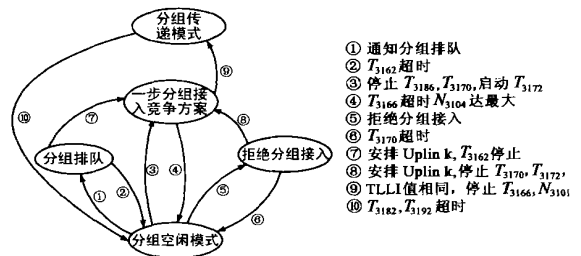


图 3 简化的 RLC/MAC 状态转换图

当竞争分解方案成功完成后,移动台进入 1/ 分组传递模式.移动台通过启动倒计时(Countdown)过程释放上行链路 TBF(Temporary block flow,临时块流,指移动台和基站之间临时建立的无线连接,含一个或多个分组数据业务信道)^[9].此时若定时器 T_{3182} 未超时,且移动台有新的数据需要传递,RLC/MAC 允许快速建立上行链路 TBF,以缩短移动台接入时间.这与定时器 T_{3182}, T_{3168} ,计数器 N_{3103} 有关.为简便计,文中以 T_{3182} 代表该机制.

4 用 D2BMAP/ D/ 1 分析 GPRS 数据业务性能

由于 GSM/GPRS 是基于时隙的同步系统,若采用给数据业务预留信道的分配方案,则一旦分配的时隙数(信道数)一定,则服务速率一定.结合第 3 节的分析,GPRS 数据业务在基站缓冲区的排队可用 D2BMAP/ D/ 1 模型来分析.本节首先分

析嵌入点的稳态分布,然后推广到任意时刻.

4.1 嵌入点的稳态分布

这里研究的嵌入点指分组传输建立过程(接入)完成;小分组传输结束;由于一批小分组的到达而使 T_{3182} 停止,如图 4 所示.其中纵坐标表示 RLC/MAC 缓冲区队长,横坐标每一小格表示一个无线块周期(或称为无线块时长),箭头所指的位置是新的 Packet Call 的到达时刻.

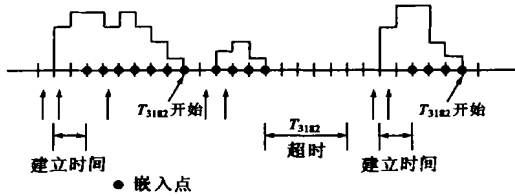


图 4 排队模型的嵌入点

设 L_n 是第 n 个嵌入点时队列的长度, J_n 是第 n 个嵌入点时 $\mathcal{D}\mathcal{B}\mathcal{M}\mathcal{A}\mathcal{P}$ 基本过程的状态.假定一批小分组传输完成时刻紧跟着另一批小分组的到达,而观察时刻是这批小分组到达后,则 $\{(L_n, J_n), n = 1, 2, \dots\}$ 为马尔可夫链.设其一步转移概率矩阵为 $P = (p_{(k, i)(m, j)})_{0 \leq i, j \leq 2}$, 其中 $p_{(k, i)(m, j)} = P[L_{n+1} = m, J_{n+1} = j | L_n = k, J_n = i]$. V_A 表示由于一批小分组到达而使 T_{3182} 停止时刻队长,其概率母函数 PGF (Probability generating function) 为 $V_A(z) = \sum_{m=1}^{\infty} P_r\{V_A = m\} z^m$. 设 V_N 为服务器从分组空闲状态到建立过程完成时间内到达的小分组数,其 PGF 为

$V_N(z) = \sum_{l=1}^{\infty} P_r\{V_N = l\} z^l$. 设 $S_1(z)$ 、 $S_2(z)$ 、 $S_3(z)$ 分别是移动台经 (1) \gg , \hat{A} (以概率 p_1); (2) \downarrow , \hat{c} , \hat{A} (以概率 p_2); (3) $\frac{1}{2}$, \hat{A} , \hat{A} (以概率 p_3) 从/分组空闲模式 0 至/分组传递模式 0 三种情形下的建立时间的 PGF, 分别为: $S_1(z) = \sum_{k=1}^{\infty} P_r\{S_1 = k\} z^k$,

$S_2(z) = \sum_{k=1}^{\infty} P_r\{S_2 = k\} z^k$, $S_3(z) = \sum_{k=1}^{\infty} P_r\{S_3 = k\} z^k$. 令 $D(z)$ 是转移概率矩阵 D_k 的矩阵母函数 MGF (Matrix generating function, MGF), $D(z) = \sum_{k=0}^{\infty} D_k z^k$.

由第 3 节中描述的 RLC/MAC 工作过程及矩阵母函数和概率母函数理论有

$$\begin{aligned} V_A(z) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} P_r[T_{3182} = l] \sum_{k=1}^{\infty} (D_0)^{k-1} D_n z^m \\ &= \sum_{l=1}^{\infty} P_r[T_{3182} = l] \sum_{k=1}^{\infty} (D_0)^{k-1} [D(z) - D_0] \\ &= (I - D_0)^{-1} [I - T_{3182}(D_0)] [D(z) - D_0] \quad (1) \end{aligned}$$

设空闲状态之后,建立过程开始时队长为 1 的 PGF 为

$$\begin{aligned} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} D_k^{l-1} D z^l &= \sum_{k=0}^{\infty} D_k^k \sum_{l=1}^{\infty} D z^l = (I - D_0)^{-1} [D(z) - D_0] \text{ 故} \\ V_N(z) &= (I - D_0)^{-1} [D(z) - D_0] [p_1 S_1(D(z)) + p_2 S_2(D(z)) \\ &\quad + p_3 S_3(D(z))] \quad (2) \end{aligned}$$

设每个无线块周期内发送的小分组数,即服务速率为 C (小分组数/无线块时长),则一步转移概率矩阵 P 为

$$P = \begin{bmatrix} 0 & B_1 & B_2 & \dots & B_{C-1} & B_C & B_{C+1} & \dots \\ 1 & D_0 & D_1 & D_2 & \dots & D_{C-1} & D_C & D_{C+1} & \dots \\ 2 & D_0 & D_1 & D_2 & \dots & D_{C-1} & D_C & D_{C+1} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s & s & s & s & w & s & s & s & w \\ C-1 & D_0 & D_1 & D_2 & \dots & D_{C-1} & D_C & D_{C+1} & \dots \\ C & D_0 & D_1 & D_2 & \dots & D_{C-1} & D_C & D_{C+1} & \dots \\ C+1 & 0 & D_0 & D_1 & \dots & D_{C-2} & D_{C-1} & D_C & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s & s & s & s & w & s & s & s & w \end{bmatrix}$$

矩阵 P 的 (i, j) 项表示缓冲区队长从 i 变为 j 的状态转移概率矩阵,其中第一行的 $B_n, n = 1, 2, 3, \dots$ 为缓冲区队长从 0 到 n 的转移概率矩阵,由下式决定

$$V_A(z) + T_{3182}(D_0) V_N(z) = \sum_{i=1}^{\infty} B_i z^i \quad (3)$$

P 中,当 $2F \leq i \leq C+1$ (即队长为 $1 \leq i \leq C$) 时,原有小分组都得到服务,一步转移后队长为新到的小分组数,故 $P_{i,j} = D_{j-1}$ (第 j 列队长为 $j-1$); 当 $i > C+1$ (即队长 $1 > C$) 时,易知:若 $i-j > C$, 则 $P_{i,j} = 0$, 若 $i-j \leq C$, 则 $P_{i,j} = D_{j-(i-C)}$. 故有上述一步转移概率矩阵.

设 $\{(L_n, J_n), n = 1, 2, \dots\}$ 的稳态概率向量为 P , 则

$$PP = P \quad Pe = 1 \quad (4)$$

e 为单位列向量, $P = (P(0,0), P(0,1), P(0,2), P(1,0), P(1,1), P(1,2), P(2,0), \dots)$.

4.2 任意时元的稳态分布

设 L_n 是第 n 个时元(称 1 个无线块时长为 1 个时元,下同)时队列的长度, J_n 是第 n 个时元时 $\mathcal{D}\mathcal{B}\mathcal{M}\mathcal{A}\mathcal{P}$ 基本过程的状态, I_n 是服务器在第 n 个时元的状态.可见 (L_n, J_n, I_n) 是一个马尔可夫再生过程,其嵌入式马尔可夫更新过程为 (L_n, J_n) . 如图 3 所示,服务器的状态 I_n 取值为: 0) / 分组传递模式 0; 1) 定时器 T_{3182} 运行期间; 2) / 一步分组接入竞争方案; 3) / 分组排队; 4) / 拒绝分组接入; 5) / 分组空闲模式; 6) / 分组传递模式建立期间. 这样再生过程 (L_n, J_n, I_n) 的状态取值范围为: $1 \leq I \leq 1, 0 \leq J \leq 2, 0 \leq I \leq 6$. 设

$$P_0(1, j) = \lim_{n \rightarrow \infty} P[L_n = 1, J_n = j, I_n = 0],$$

$$P_1(0, j) = \lim_{n \rightarrow \infty} P[L_n = 0, J_n = j, I_n = 1]$$

$$P_6(1, j) = \lim_{n \rightarrow \infty} P[L_n = 1, J_n = j, I_n = 6],$$

$P_0 = [P(0,0), P(0,1), P(0,2)]$, $p_1 = [p_1(0,0), p_1(0,1), p_1(0,2)]$, $p_6(1) = [p_6(1,0), p_6(1,1), p_6(1,2)]$

由图 3 知,分组接入过程(由/分组空闲模式 0 到/分组传递模式 0)有三条途径可完成. 设 $M(n) = \{M(n,0), M(n,1), M(n,2)\}$ 是/分组传递模式 0 建立过程中队长为 n 时基本过程 $\{J_n\}$ 停留在 $\infty \setminus 10 \setminus 20$ 的平均时间构成的向量. 根据矩阵函数理论有

$$P_0 T_{3182}(D_0) (I - D_0)^{-1} [D(z) - D_0] [I - D(z)]^{-1} \{ [I - S_1(D(z))] + [I - S_2(D(z))] + [I - S_3(D(z))] \} = \sum_{n=1}^{\infty} M(n) z^n \quad (5)$$

因此,马尔可夫再生过程 (L_n, J_n, I_n) 连续两个再生点(嵌入点)之间的平均时间为

$$G = 1 - P_0 e + P_0 (I - D_0)^{-1} [I - T_{3182}(D_0)] e + P_0 T_{3182}(D_0) (I - D_0)^{-1} e + \sum_{l=1}^1 M(l) e \quad (6)$$

由于再生过程处于状态 j 的稳态概率等于一个周期中处于状态 j 的总时间与一个周期的平均时间的比值^[8]

$$p_0(1, j) = \frac{P(1, j)}{G}, p_6(1) = \frac{M(1)}{G}$$

4.1.3 性能度量

由 4.1.2 节所得的稳态概率, 可得 RLC/MAC 缓冲区的平均队长 L 为

$$L = \sum_{l=1}^1 K \left\{ \sum_{j=0}^2 p_6(1, j) + \sum_{j=0}^2 p_0(1, j) \right\} \quad (7)$$

设 H 为基本的马尔可夫到达过程的稳态概率, 有 $HD(1) = H, He = 1, e = [1 \ 1 \ 1]^{-1}$.

设 K 为 GPRS 数据块的到达率, 值为

$$K = H \left. \frac{dD(z)}{dz} \right|_{z=1} e = H \sum_{k=1}^1 D_{\#} k \# e \quad (8)$$

由 Little 定理, 平均时延为

$$\text{Delay} = L / K \quad (9)$$

若缓冲区容量为 B (小分组数), 则小分组的丢弃率可近

似表示为

$$\text{Loss. rate} = \sum_{l=B+1}^1 \left\{ \sum_{j=0}^2 p_6(1, j) + \sum_{j=0}^2 p_0(1, j) \right\} \quad (10)$$

5 数值结果及分析

由于 GSM 时隙长为 0.577ms, 故无线块时长 $T_{\text{radio_block}} = 181.5\text{ms}$, 取 $L_{\text{PC}} = 80, N_w = 20 (L_{\text{Nd}} = 20), L_{\text{N}_{\text{PC}}} = 5, S_1, S_2, S_3$ 分别为服从参数 q_1, q_2, q_3 的几何分布, 假设 $q_2 = 2q_1, q_3 = 3q_1$. 数值结果如图 5~10 所示. 在图 5~9 中, 设 $q_1 = 0.1, q_2 = 0.2, q_3 = 0.3, p_1 = 0.8, p_2 = 0.1, p_3 = 0.1$.

当移动台处于传输状态时, 为了防止移动台在传输完成后不久又有新的业务要传输 (或接收), 因此设置定时器 T_{3182} , 如图 5 所示, T_{3182} 时间变长, 则时延缩短, 可见设置此定时器对减少用户的接入时延作用明显. 同样, 随着 T_{3182} 时间变长, 小分组丢弃率降低, 如图 6.

图 7 给出时延随空闲状态产生新的会话的概率的变化情况, 概率变大则时延加长, 即越是繁忙时延越大, 与文 [3, 4] 的结果比较接近. 此外, 随着服务速度的增加, 时延明显降低. 提高服务速率就要给 GPRS 业务分配较多的时隙, 这样做势必影响 GSM 话音业务的质量, 应用时要进行权衡.

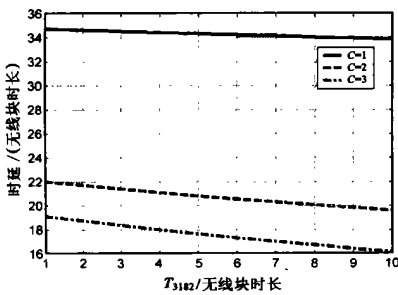


图 5 时延与 T_{3182} 的关系

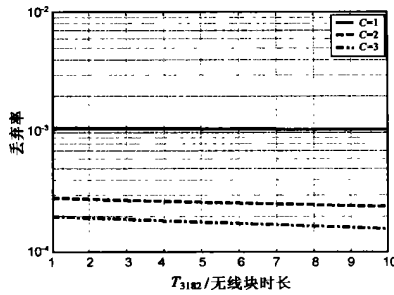


图 6 小分组丢弃率与 T_{3182} 的关系

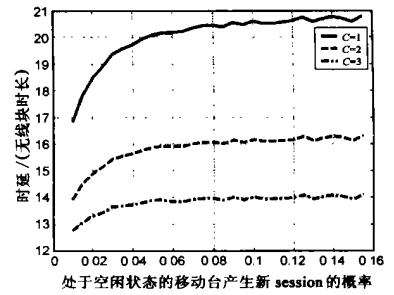


图 7 时延与空闲状态移动台产生新会话的概率之间的关系

缓冲区越大, 丢弃率迅速降低, 如图 8 所示. 图 9 给出时延随每个会话中分组呼叫个数的变化情况, 可以看出时延基本不变. 此外丢弃率亦基本不变. 这是由于分组呼叫到达间隔时间远大于分组呼叫持续时间, 新的分组呼叫到达前, 小分组已经传输完毕.

在固定的资源分配模式下, 服务器从 / 分组空闲模式 0 到 / 分组传递模式 0 的建立速率由 GPRS 会话到达率、每个会话中分组呼叫个数以及每个分组呼叫中小分组个数决定. 图 10 绘出了丢弃率随建立速率的变化情况. 很明显, 建立速率越快, 丢弃率愈低. 同样时延愈短.

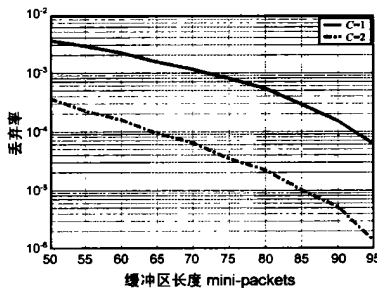


图 8 小分组丢弃率与缓冲器长度的关系

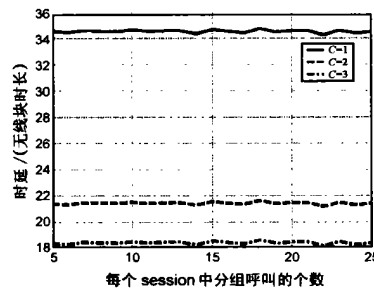


图 9 时延与每个会话中分组呼叫个数的关系

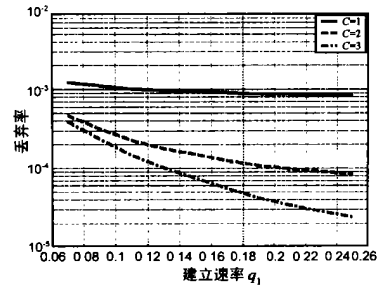


图 10 小分组丢弃率随建立速率 q_1 的变化曲线

6 结论

本文基于 D2BMAP/D/1 排队过程建立了 GPRS 数据业务性能分析模型,分析了其在简化的一步接入模型和固定信道分配模式下队列的平均长度、小分组的平均时延和丢弃率,并考虑了不同参数时的情形.在进行网络优化时可根据 QoS 的要求(如时延、丢弃率指标)和业务量参数(运用时需进行实测以调整有关参数)设计 T_{3182} 等相关定时器、计数器和缓冲区的大小^[10].

参考文献:

- [1] F Tataranni, S Porcarelli, F Di Giandomenico, et al. Modeling and analysis of the behavior of GPRS systems [A]. IEEE 6th International Workshop on ObjectOriented RealTime Dependable Systems [C]. Roma, Italy, 2001. 51- 58.
- [2] Jahangir H Sarker, Seppo J Halme. Efficiency of the GSM2GPRS air interface for realtime IP traffic flows with and without packet dropping [J]. Wireless Personal Communications, 2002, 21: 125- 140.
- [3] Christoph Lindemann, Axel Thummler. Performance analysis of the general packet radio service [J]. Computer Networks, 2003, 41: 1- 17.
- [4] Ulrich Vomefeld. Analytical Performance Evaluation of Mobile Internet Access via GPRS Networks [EB/ OL]. <http://www.ing.unipi.it/ew2002/proceedings/108.pdf>, 20020417.
- [5] BongDae CHOI, YeonHwa CHUNG, ChangSun CHOI. Performance evaluation of a mobile servicing data traffics in cdma2000 [J]. IEICE Trans. Comm, 2002, E85B(1): 257- 267.
- [6] Alexander Klemm, Christoph Lindemann, Marco Lohmann. Traffic modeling and characterization for UMTS networks [A]. Proceedings of the Globecom [C]. San Antonio, 2001. 1741- 1746.

- [7] TR 101 112 V3. 2. 0 (199804). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS [S].
- [8] 邓永录, 梁之舜. 随机点过程及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. 202204, 553- 574.
- [9] 3GPP TS 04. 60 V8. 16. 0 (200209). Technical Report, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group GSM/ EDGE Radio Access Network; General Packet Radio Service (GPRS); Mobile Station (MS)2Base Station System (BSS) interface; Radio Link Control/ Medium Access Control (RLC/MAC) protocol (Release 1999) [S].
- [10] 张秀成. GPRS 无线网络优化探讨 [J]. 通信世界, 2003. 1: 47.

作者简介:



朱畅华 男, 1973 年 6 月生于陕西乾县, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为: 移动通信、无线 IP、网络测量、网络行为学等. Email: chhzhu@xidian.edu.cn.



裴昌幸 男, 1945 年 11 月生于陕西礼泉县, 西安电子科技大学教授, 博士生导师, 通信工程学院副院长, 主要研究方向为: 无线通信、通信抗干扰、智能天线、网络测量、ADSL 等.