

GPRS 手机流控过程模拟

复旦大学数学系 陆立强 许虹

一、问题的来源

GPRS 手机可以接受文字、语音和图像等信息，因此系统采用分组数据单元 (PDU) 进行传递。为了保证 PDU 能长时间正常传输，不中断也不丢失，系统设立了 PCU 模块控制分组数据传送，PCU 主要包含了一个 PDU 缓存区（称为桶）。

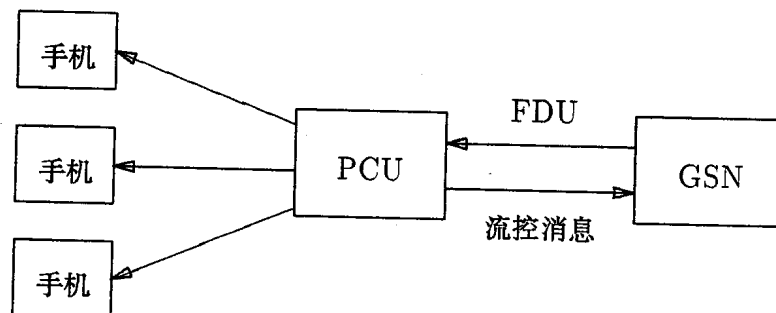


Figure 9: 图 1

由于手机访问网站时信息传递的不对称，即手机发送到网站的信息量（上行数据）远远少于网站发送到手机的信息量（下行数据），因此 GPRS 系统只对下行 PDU 进行控制，这种控制（简称：PDU 流控）是由 PCU 和 GSN 共同完成的（如图 1 所示）。其过程为：

1. PCU 根据每个 MS (手机用户) 接受 PDU 的速度，每隔一定

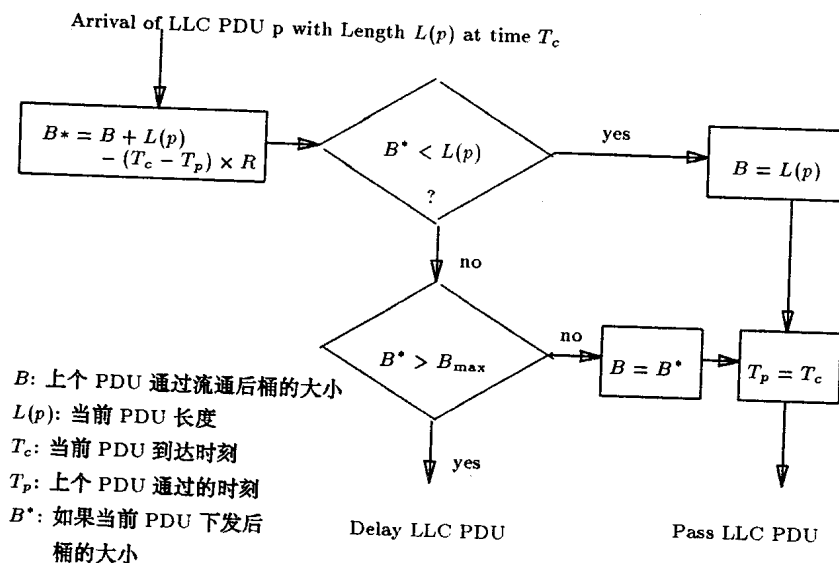


Figure 10: 图 2

的时间向 GSN 发送流控消息，其中包含两个数据： R （MS 接收 PDU 的速度）和 B_{max} （该 MS 桶长度的最大值）

- GSN 根据 PCU 上报的流控消息，以约定的方式（如图 2 所示），确定在 GSN 处排队的 PDU 是否下发到 PCU 中。

由于流控数据不是即时传送的，流控信息中的 R 和实际的 MS 流速有误差，需要用 B_{max} 的大小变化调控存储在桶中的 PDU，以避免数据下行的中断，这里的中断是指桶空的时间超过了某个指定值。但是桶中的 PDU 数目也不能过多，因为如果因桶中的 PDU 数目过多而导致有 PDU 在桶中的等待时间超过其生命周期的话，该 PDU 将会被丢弃。

问：如何确定上报的 R 和 B_{\max} ，使下行 PDU 传输过程中中断的次数和 PDU 被丢弃的次数尽可能少。

二、分析

首先设定如下符号：

Δt :	PCU 上报流控信息的时间间隔 (秒)；
$[t, t + \Delta t]$:	时刻 t 上报流控信息的有效时间段；
$R(t)$:	PCU 在时刻 t 上报的流速；
$B_{\max}(t)$:	PCU 在时刻 t 上报的最大桶大小；
$T3193$:	保持桶空状态的最长时间
PDULifeTime:	PDU 的生命周期。

示性函数：

$$I(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0; \\ 0 & x < 0. \end{cases}$$

1. 流控目标函数

假设在 $[t, t + \Delta t]$ 时间段内有 m 个 PDU 通过 GSN 流控到达 PCU, 则第 i 个 PDU ($1 \leq i \leq m$) 在 PCU 中的等待时间为

$$w_i = \text{PDU 开始流出时刻} - \text{PDU 到达时刻} = t_{\text{in}} - t_{\text{out}} \quad (0)$$

如果 $w_i < 0$, 则 $t_{\text{out}} - t_{\text{in}}$, 表明第 i 个 PDU 到达时, 桶中原有的 PDU 已经全部流出, 进一步, 若 $w_i < -T3193$, 则表明桶空时间超过限制导致数据传输中断; 如果 $w_i > \text{PDULifeTime}$, 则因第 i 个 PDU 在桶中等待的时间超过生命周期而被丢弃。

由此, 根据 GPRS 流控目标, 流控的目标函数可以表示为:

$$\min \left(\sum_{i=1}^m I(-w_i - T3193) + \sum_{i=1}^m I(w_i - \text{PDULifeTime}) \right) \quad (1)$$

2. 手机流速计算公式

在 GPRS 系统中, 无线资源分配的基本单位是分组数据信道 (PDCH), 指定区域内的所有在线的手机可共享该小区中所有 PDCH。假设在线手机总数为 MsNum、GPRS 业务可用信道总数为 PDCHNum, 且所有的信道被平均分配给每个在线的 MS。那么有以下公式:

$$\begin{aligned} \text{MsCHNum} & (\text{每个手机可用 PDCH 数}) \\ & = \text{PDCHNum} / \text{MsNum} \end{aligned}$$

又假设每个 PDCH 的数据传输速度为 CS_SPEED(BYTE/秒), 那么, 每个手机可达到的最大传输速度为:

$$\begin{aligned} \text{MsMaxRate} & = \text{CS_SPEED} \times \text{MsCHNum} \\ & = \text{CS_SPEED} \times \text{PDCHNum} / \text{MsNum} \end{aligned} \quad (2)$$

由于 MsNum 和 PDCHNum 为时间 t 的随机值, 因而我们只能得到随机值 MsMaxRate。

3. 流控约束条件

综合 (0)、(1), 我们假设:

1. $[t, t+\Delta t]$ 时间段中 PDU 的到达时刻和长度分别为 t_i 和 L_i ($1 \leq i \leq m$ 且 $t < t_1 < t_2 < \dots < t_m \leq t + \Delta t$), 每个 PDU 的平均流速为 R_i , 那么它们流出所需时间分别为 $\frac{L_i}{R_i}$ ($1 \leq i \leq m$);
2. 时刻 t 在 PCU 中遗留的 PDU 总长为 $B(t)$, $R(t)$ 为 $[t, t + \Delta t]$ 时间段中平均流速, 那么这些信息全部流出需要花费时间为 $\frac{B(t)}{R(t)}$;

则 PDU 的等待时间为 ($1 \leq i \leq m$)

$$w_i = t + \frac{B(t)}{R(t)} + \sum_{j=1}^{i-1} (w_j + I(w_j) \times I(\text{PDU Life Time} - w_j) \times \frac{L_j}{R_j}) - t_i \quad (3)$$

4. 流控算法模拟

综合 (0) - (3), 要从理论上得到最优的流控算法目前还是一个难题。我们用计算机模拟的方法对此作一些探索, 其中包括 PDU 数据长度和到达时刻、在线手机个数的模拟, 也包括在 PCU 和 GSN 共同作用下的流控过程的模拟。我们假设:

1. GPRS 手机到达是 POISSON 过程, 那么, 可以得到 M_sNum , 从而根据 (2) 计算出 $R(t)$ 和 R_j ;
2. PDU 长度是 $[L_{min}, L_{max}]$ 上的均匀分布的随机值, 其中 L_{min}, L_{max} 分别是协议规定的 PDU 长度的最大值和最小值, 由此可以得到 $L_i (1 \leq i \leq m)$;
3. PDU 到达也是 POISSON 过程, 由此可以得到 $T_i (1 \leq i \leq m)$;
4. 每个 $[t, t + \Delta t]$ 时间段内, 手机流速是分段均匀的, 每小段时间长为, 那么

$$B(t + \Delta t) = B(t) + \sum_{i=1}^m L_i - \sum_{i=1}^n R_i \times \Delta t_i \quad (4)$$

由于手机个数是随机变化的, 上报的 $R(t)$ 和实际的流速有一定差别, 所以从图 2 所示算法可以看到, 当误差积累到一定程度时, 通过 $B_{max}(t)$ 的调节增加或者减少 PDU 在 PCU 中的存储, 以实现流控目标。计算 $B_{max}(t)$ 的方法有多种, 其中一种方法如下:

$$B_{max}(t) = \begin{cases} 0 & B(t) \geq 0.9B^* \\ B_{max}(t - \Delta t) - 0.1B^* & B(t) \geq 0.6B^* \\ B_{max}(t - \Delta t) & 0.4B^* < B(t) < 0.6B^* \\ B_{max}(t - \Delta t) + 0.1B^* & B(t) \leq 0.4B^* \\ B^* & B(t) \leq 0.1B^* \end{cases} \quad (5)$$

其中 $B_{max}(t - \Delta t)$ 为上次上报值, B^* 为 PCU 可容纳的 PDU 的最大长度。

三、流控过程模拟

我们用事件驱动方式模拟系统的运行状态，这些事件包括：流控消息上报、PDU 到达 GSN、数据业务手机到达、数据业务手机离开、语音业务手机到达、语音业务手机离开等 6 种。模拟过程的伪代码表示如下：

1. 生成事件序列
2. 设置系统初值
3. WHILE 模拟运行时间没有结束 DO
 - 1 取当前事件；
 - 2 IF 当前事件不存在 THEN break ；
 - 3 根据 (3)、(4) 计算各 PDU 等待时间，检查是否发生中断和丢弃；
 - 4 IF 当前事件为流控消息上报 THEN 根据 (2) 和 (5) 计算 $R(t)$ 和 B_{\max} ；
 - 5 ELSE IF 当前事件为 PDU 到达 THEN 根据图 (2) 算法决定是否进入 PDU 队列；
 - 6 ELSE 根据 (2) 重新计算 PDU 传送速度
4. 输出结果、结束。

