

P1

设计并描述在自动柜员机和银行的中央计算机之间使用的一种应用层协议。你的协议应当允许验证用户卡和口令，查询账户结算（这些都在中央计算机中进行维护），支取账户项目（即向用户支付钱）。你的协议实体应当能够处理取钱时账户中钱不够的常见问题。通过列出自动柜员机和银行中央计算机在报文传输和接收过程中交换的报文和采取的动作来定义你的协议。使用类似于图1-2所示的图，拟定在简单无差错取钱情况下该协议的操作。明确地阐述在该协议中关于底层端到端运输服务所做的假设。

答案不唯一，以下答案供参考：

从ATM到服务器的信息

消息名称	目的
HELO	让服务器知道ATM机中有卡片，ATM卡将用户ID传送给服务器
PASSWD	用户输入将发送给服务器的PIN（密码）
BALANCE	用户请求账户余额
WITHDRAWL	用户请求取钱
BYE	用户操作完成

从服务器至ATM机器的信息

消息名称	目的
PASSWD	要求用户输入密码PIN
OK	最后一次请求操作（PASSWD、WITHDRAWL）正常
ERR	最后一次请求操作（PASSWD、WITHDRAWL）错误
AMOUNT	回应BALANCE请求
BYE	用户操作结束，ATM显示欢迎界面

正确响应流程

客户端	服务器
HELO	————> 检测userid是否有效
	<———— PASSWD
PASSWD	————> 检测密码
	<———— OK（密码OK）
BALANCE	————>
	<———— AMOUNT
WITHDRAWL	————> 检测是否有足够钱
	<———— OK
ATM 吐钞	
BYE	————>
	<———— BYE

钱不够的情况

客户端	服务器
HELO	————> 检测userid是否有效
	<———— PASSWD
PASSWD	————> 检测密码
	<———— OK（密码OK）
BALANCE	————>
	<———— AMOUNT
WITHDRAWL	————> 检测是否有足够钱
	<———— ERR（钱不够）
显示错误信息	
不吐钱	
BYE	————>
	<———— BYE

考虑一个应用程序以稳定的速率传输数据（例如，发送方每 k 个时间单元产生一个 N 比特的数据单元，其中 k 较小且固定）。另外，当这个应用程序启动时，它将连续运行相当长的一段时间。回答下列问题，简要论证你的回答：

a. 是分组交换网还是电路交换网更为适合这种应用？为什么？

b. 假定使用了分组交换网，并且该网中的所有流量都来自如上所述的这种应用程序。此外，假定该应用程序数据传输速率的总和小于每条链路的各自容量。需要某种形式的拥塞控制吗？为什么？

a) 电路交换网络非常适合这种应用，因为应用程序涉及长会话，具有可预测的平滑带宽需求。因为传输速率是已知的，而不是突发的，所以可以为用户保留带宽，这样每个应用程序会话都没有明显的浪费。此外，建立和拆除连接的消耗将在一段较长的典型的应用程序会话时间内摊销。

b) 不需要，传输速率总和小于链路容量。在最坏的情况下，所有应用程序同时通过一个或多个网络链接传输数据。然而，由于每个链路都有足够的带宽来处理在所有应用程序的数据速率总和，不会出现拥塞（很少排队）。考虑到如此大的链路容量，网络不需要拥塞控制机制。

P9

考虑在 1.3 节“分组交换与电路交换的对比”的讨论中，给出了一个具有一条 1 Mbps 链路的例子。用户在忙时以 100 kbps 速率产生数据，但忙时仅以 $p = 0.1$ 的概率产生数据。假定用 1 Gbps 链路替代 1 Mbps 的链路。

a. 当采用电路交换技术时，能被同时支持的最大用户数量 N 是多少？

b. 现在考虑分组交换和有 M 个用户的情况。给出多于 N 用户发送数据的概率公式（用 p 、 M 、 N 表示）。

a) 在电路交换中，每个用户在忙时必须独占链路的一部分带宽。

- 每个用户在忙时占用带宽：100 kbps
- 链路总带宽：1 Gbps = 1,000,000 kbps

因此，最大支持的用户数为：

$$N = \frac{1,000,000 \text{ kbps}}{100 \text{ kbps}} = 10^4 \quad (1)$$

b) 在分组交换中，用户并非总是活跃，而是以概率 $p = 0.1$ 发送数据。我们现在有 M 个用户，每个用户以概率 p 处于忙状态，即发送数据。则用户发送数据的数量服从 **二项分布**：

- 成功次数（即用户正在发送数据的数量）为 n
- 成功概率为 p
- 总试验次数为 M

我们关心的是有超过 N 个用户（即超过链路能承受的最大值）在同一时刻发送数据的概率，用公式表示为：

$$P(\text{超过 } N \text{ 个用户发送}) = \sum_{n=N+1}^M \binom{M}{n} p^n (1-p)^{M-n} \quad (2)$$

P12

一台分组交换机接收一个分组并决定该分组应当转发的出链路。当某分组到达时，另一个分组正在该出链路上被发送到一半，还有 4 个其他分组正等待传输。这些分组以到达的次序传输。假定所有分组是 1500 字节并且链路速率是 2 Mbps。该分组的排队时延是多少？在更一般的情况下，当所有分组的长度是 L ，传输速率是 R ，当前正在传输的分组已经传输了 x 比特，并且已经在队列中有 n 个分组，其排队时延是多少？

1. 排队时延是指该分组在队列中等待前面所有分组发送完所经历的时间。
2. 当前正在发送一个分组的一半，相当于 0.5 个分组的时延；
3. 队列中有 4 个完整分组等待，因此总共有 4.5 个分组排在前面；
4. 每个分组大小为 $L = 1500$ 字节 $= 1500 \times 8 = 12000$ 比特；
5. 传输速率 $R = 2 \text{ Mbps} = 2 \times 10^6 \text{ bps}$ ；
6. 因此传输一个完整分组的时间为：

$$\frac{12000}{2 \times 10^6} = 6 \text{ ms} \quad (3)$$

7. 总排队时延为：

$$4.5 \times 6 \text{ ms} = 27 \text{ ms} \quad (4)$$

若当前正在传输的分组已传输了 x 比特，且队列中有 n 个完整分组，则排队时延为：

$$\frac{nL + (L - x)}{R} \quad (5)$$

其中：

- L ：分组长度（比特）
- R ：链路传输速率（bps）
- x ：当前正在传输的分组已传输比特数

P20

考虑对应于图 1-20b 吞吐量的例子。现在假定有 M 对客户 - 服务器而不是 10 对。用 R_s 、 R_c 和 R 分别表示服务器链路、客户链路和网络链路的速率。假设所有的其他链路都有充足容量，并且除了由这 M 对客户 - 服务器产生的流量外，网络中没有其他流量。推导出由 R_s 、 R_c 、 R 和 M 表示的通用吞吐量表达式。

数据从服务器发送到客户端，整个路径会经过三个瓶颈部分：

1. 服务器本地链路，速率为 R_s ；
2. 客户端本地链路，速率为 R_c ；
3. 所有 M 对通信共享的网络链路，总带宽为 R ，所以每对最多分到 R/M 带宽。

因此，每对客户-服务器对的**实际吞吐量**由三者中最小的决定，即：

$$\min\{R_s, R_c, R/M\} \quad (6)$$

P22

考虑图 1-19b。假定服务器与客户之间的每条链路的丢包概率为 p ，且这些链路的丢包率是独立的。一个（由服务器发送的）分组成功地被接收方收到的概率是多少？如果在从服务器到客户的路径上分组丢失了，则服务器将重传该分组。平均来说，为了使客户成功地接收该分组，服务器将要重传该分组多少次？

1. 单条链路不丢包的概率为 $1 - p$ ；
2. 经过 N 条链路都不丢包的概率为（因为独立）：

$$p_s = (1 - p)^N \quad (7)$$

其中 p_s 即为一次完整传输成功的概率。

3. 成功接收一个分组所需的传输次数服从**几何分布**，其期望为：

$$\frac{1}{p_s} \quad (8)$$

4. 所以服务器平均重传次数（不包括第一次）为：

$$\frac{1}{p_s} - 1 = \frac{1}{(1 - p)^N} - 1 \quad (9)$$