

ITU-R M.1741* 建议书

卫星移动业务中 IP 分组应用的性能指标导出方法及优化

(ITU-R 85-1/8、87-3/8、112/8 和 233/8 号研究课题)

(2006 年)

范围

本建议书规定了卫星移动业务中 IP 分组应用的性能指标导出方法及优化。卫星移动业务中 IP 分组数据应用的物理层和 MAC 层的性能参数和指标的指导方针、导出性能指标的方法及 TCP 性能优化的指导方针分别在本建议书的附件 1、2 和 3 中给出。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 网际协议 (IP) 分组传输已经成为包括卫星移动系统在内的现代通信网络的主要应用之一；
- b) 在许多现有建议书中已经规定了常规卫星移动业务 (MSS) 的假设参考电路、技术特性、性能指标和可用度要求；
- c) 除 MSS 承载链路的基本数字传输性能外，技术特性和性能应当定义在 IP 分组层的基础上；
- d) ITU-R M.1636 建议书规定的参考模型和性能参数的定义作为开发 MSS 中 IP 分组应用的技术基础；
- e) 要求服务于 IP 分组的 MSS 系统的物理层和链路层性能指标的指导方针以及导出 MSS 系统的 IP 分组传输性能指标的方法便于系统对频谱资源的有效利用；
- f) 传输控制协议 (TCP) 是 IP 之上最广泛使用的运输层协议之一，当应用于诸如 MSS 链路这样的大传输时延系统时，它要求特别注意工作参数的优化，

建议

- 1 附件 1 中的性能指标指导方针应该用于 MSS 中的 IP 分组传输；
- 2 附件 2 中的方法应该用于导出 MSS 中 IP 分组应用的性能指标；
- 3 当确定 MSS 中 IP 分组传输之上的 TCP 的工作参数时，应该考虑附件 3 中的指导方针。

* 应提请无线电通信第 4 研究组和电信标准化第 13 研究组注意本建议书。

附件 1

MSS 中 IP 分组传输性能指标的指导方针

1 引言

MSS 中的终端关于所采用的协议有许多性能要求以确保卫星链路的特性（例如大时延、可变差错率、周期中断）是被容许的并且被充分控制的。按照卫星链路上 IP 分组传输方式来工作的将被考虑的协议，包括物理（PHY）层和媒体接入控制（MAC）层。本节确定能够有助于提高 MSS 链路上 IP 分组传输性能的 PHY 和 MAC 层的特性和性能。

2 物理层（第 1 层）

2.1 基于分组的多址接入信道

对于 IP 分组传输，为了通过 MSS 链路连接到卫星接入网关，无线信道及其资源通常是由大量卫星移动终端接入。对基于分组的多址接入，无线信道及其资源的共享机制涉及多种技术的综合。卫星移动终端接入无线信道的可能的资源管理方法之一是在前向以时分复用（TDM）为基础且在反向以时分多址（TDMA）为基础来利用信道。在这种情况下，每个卫星接入网关管理一组前向（到移动终端）和反向（来自移动终端）信道。此外，卫星移动终端可以支持一个或多个发送/接收对。

物理层的 TDMA 要求某种传输调度协议，这将在第 4.4 节中详细论述。

2.2 物理层的作用

PHY 层负责在卫星链路上信息比特流的传输，包括下面的功能：

在发送端：

- 编码、加扰和交织；
- 编码比特流的调制；
- 在复用信道上传输调制信号。

在接收端：

- 接收调制信号；
- 把信号解调为编码比特流；
- 译码、去扰和去交织。

PHY 层传输一个完整的帧加上关于诸如定时和功率电平这样的卫星信号参数的测量信息。

3 MAC 层（第 2 层）

MAC 层负责控制每个连接对物理层（信道资源）的接入及负责建立和维护 MSS 链路上传递 IP 分组的连接。MAC 层一般实现下面的功能：

- 物理设备或逻辑连接的寻址，基于分组的复用信道上这些实体之间在前向和反向信道中用于传输信息的资源的调度；
- 打包和拆包 IP 分组为 MAC 帧，如果需要还包括分割和重组；
- 来自高层（例如 IP 层）的信息的缓冲和流量控制；
- 自动重发请求（ARQ）（如果特殊需要的话，差错敏感型连接）。

4 设计 MSS 中可能影响网络层（第 3 层）和更高层性能的 IP 分组数据传输系统的指导方针

此小节描述 MSS 中 IP 分组数据传输的 PHY 和 MAC 层的性能参数和系统设计的指导方针，它们能够影响 MSS 链路上 IP 分组传输的性能。

4.1 误比特率

MSS 链路的误比特率（BER）能够从 MSS 链路设计中导出，这依赖于链路的物理层特性，例如调制和差错编码机制、发送功率和链路余量、接收机灵敏度等等。表 1 给出了 64 kbit/s 承载信道的 BER 性能的一个实例。

表 1
BER 性能的实例

信道	MSS 终端 解调器 BER	MSS 网关 解调器 BER	测量周期
64 kbit/s	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-6}$	1 500 s

表 1 中实例的数值是在信号建立同步后测得的。所有可能导致 BER 恶化的原因，例如测量期间的相位噪声、同步锁定丢失、时钟滑动和跳周都包括在内，但是不包括由于多径衰落、阻挡、阴影或邻道干扰引起的突发差错所导致的恶化。

4.2 缓冲和流量控制

来自高层（例如 IP 网络层）的 IP 分组在由物理层的基于分组的多址接入信道发射之前，将被缓冲在 MAC 连接子层。缓冲区的控制机制和大小将影响 IP 分组传输的性能。例如，如果缓冲区尺寸足够大，可以降低由于缓冲区溢出造成的丢包，同时如果缓冲区尺寸太大，缓冲时延会显著增加。因此，缓冲区控制机制，包括缓冲区大小，需要在考虑到 IP 分组传输的丢失和时延之间的折衷后仔细地确定。

4.3 ARQ

MAC 层提供了可靠传输的可能，因此信息可以无差错、按顺序地传递，这是以增加分组传输时延为代价的。支持 ARQ 的机制也需要选择，以便很好地平衡差错和时延性能的折衷。

4.4 调度

调度是把基于分组的多址接入信道的资源分配到每个连接的过程，这由卫星网关管理。分配资源的简单方法是先入先出（FIFO），在这种策略中所有连接的优先级被认为是相同的。为了区别每个连接的优先级，调度过程可以以每个连接的服务质量参数为基础。

此外，其他连接的排队状态可以用于确定调度过程中传输数据的优先级。

附件 2

导出 MSS 中 IP 分组传输性能参数的方法

1 引言

基于 IP 分组应用的性能参数及其指标的一般定义分别在 ITU-T Y.1540 和 Y.1541 建议书中给出。对于采用 MSS 的 IP 分组传输，此类性能参数的主要部分由端到端通信路径的 MSS 部分决定。考虑到前一节中定义的 MSS 链路的特性和性能参数，本节概述一些导出 MSS 链路上 IP 分组传输的性能参数的可能方法。本节中，MSS 链路或卫星部分是指移动地球站和网关地球站处卫星接入终端之间通过卫星的卫星链路，就如 ITU-R M.1636 建议书中图 1 和图 2 所描述的。

2 IP 误分组率

在 ITU-T Y.1540 建议书中，IP 误分组率（IPER）定义为总的出错分组数与总的成功和出错分组数的比值。出错分组是指发送分组的信息字段的二进制内容与原始分组中那些内容不完全一致，或者发送分组的一个或多个头字段遭到破坏的分组。

考虑针对 MSS 链路规定的数字传输性能参数，理论上导出由 MSS 链路部分的出错分组引起的 IPER 应该是可能的。如果能够假定发生的是随机差错，IPER，即一个分组中至少有 1 比特出错的概率，可以在统计上导出为：

$$IPER=1-(1-BER)^{Packet_size \times 8} \quad (1)$$

其中：

BER: 应用可能的前向纠错编码 (FEC) 机制后的误比特率

Packet_size: MSS 链路传输的以字节为单位的 IP 分组的大小。

例如, ITU-R M.1476 建议书规定, 构成 ISDN 一部分的 MSS 的性能指标定义为 BER 应低于 9×10^{-7} 。在假定 IP 分组大小为 1 500 字节时, 符合 ITU-R 建议书的系统的 IPER 高达 1×10^{-2} 。

通常认为在减少分组差错和降低传输时延之间有一个折衷关系。这种折衷依赖于系统设计。

对差错敏感应用, ITU-T Y.1541 建议书规定, IPER 性能指标暂时小于 1×10^{-4} 。为符合有关差错敏感型 QoS 类的 ITU-R 建议书, 一个可能的方法是把 ARQ 机制应用于 MSS 链路以改善 IPER, 其代价是增加 IP 分组传输时延。

对时延敏感应用, 不能应用诸如 ARQ 的重发技术。因此, IPER 仅由卫星信道的性能所决定, 即 BER 和每个 IP 分组的大小, 均应该通过系统设计来仔细地确定。

3 IP 分组丢失率

在 ITU-T Y.1540 建议书中, IP 分组丢失率 (IPLR) 定义为总的丢失分组数与总的发送分组数的比值。导致 IP 分组丢失的原因包括, 例如, 由于路由表更新不一致带来的 IP 分组的错误定向, 路由器或分组传输设备中的缓冲区溢出, 路由器过载等。考虑到 IP 分组通信路径的 MSS 链路部分, IP 分组丢失的主要原因, 即 IP 分组丢失的瓶颈应该在于把 MSS 链路连接到地面部分的卫星传输设备的接口中缓冲区的分组溢出。

由于发送缓冲区中分组溢出引起的 IP 分组丢失率取决于下面几个参数:

- IP 分组到达过程;
- 把 MSS 链路连接到地面部分的接口中发送缓冲区的大小;
- MSS 链路上 IP 分组调度机制。

普遍认为, IP 分组数据应用的到达过程在本质上是突发性的。例如, 为了评估移动通信应用中无线电传输技术而针对 Web 浏览定义了一个业务量模型¹。模型采用所谓的开关分组到达模型。开周期和关周期分别对应文件下载中的一系列分组和读文件的时间。模型很好地描述了 Web 浏览的行为, 然而迄今为止还没有在具有突发性质的复杂分组数据业务模型下评估 IP 分组数据应用的性能的分析方法被报道或者被建立。评估突发性业务的 IPLR 的一个可能方法是采用具有对上述参数有适当假设的排队模拟。

¹ UMTS TR 101 112, “用于选择 UMTS 的无线电传输技术的选择规程,” 1998 年 4 月。

假定 IP 分组以泊松过程到达且具有 FIFO 调度器的有限缓冲区，由于缓冲区溢出导致的分组丢失率 $IPLR$ 的另一个可能的近似可以通过分析 $M/M/1/K$ 队列在理论上推导，如下式：

$$IPLR = \rho^K / \sum_{n=0}^K \rho^n \quad (2)$$

其中：

- K : 以分组数为单位的缓冲区大小
- ρ : 业务量强度，即 $\rho = \lambda \cdot h$
- λ : 分组到达速度（每秒钟到达的分组数）
- h : 发送分组的平均占用时间。

4 IP 分组传输时延 (IPTD)

IP 分组传输时延 (IPTD) 是端到端 IP 连接的总传输时延。对于 IPTD，有必要把端到端连接合理地分配到构成端到端连接的所有部分。对于 MSS 链路部分，ITU-R M.1636 建议书中定义 $IPTD_{sat}$ 如下：

$$IPTD_{sat} = \sum_{n=1}^{N+1} \{T_{n,propagation} + T_{n,processing}\} + T_{buffer} \quad (3)$$

其中：

- N : 采用 ARQ 重发的数目
- $T_{n,propagation}$: 第 n 次传输时 MSS 链路的传播时延
- $T_{n,processing}$: 对于 MSS 链路上的第 n 次传输，用于卫星信道上分组传输和适配的处理时延
- T_{buffer} : 把 MSS 链路连接到地面部分的接口处的缓冲时延。

各种 MSS 系统的 IP 分组传播时延 $T_{n,propagation}$ 的典型值以及时延方差在 ITU-R M.1636 建议书中提供。对于非 GSO (MEO) MSS 系统，星下点的 $T_{n,propagation}$ 是 69 ms，而在卫星覆盖区边缘是 103 ms。处理时延 $T_{n,processing}$ 决定于用做 IP 分组传输的 MSS 系统特性，例如：

- 前向纠错机制；
- MSS 链路的帧结构；
- 分组长度和分组发送速率 (bit/s)；
- MSS 链路上 IP 分组调度机制。

这些参数可以从 MSS 物理和链路层的性能指标中获得。如果对于 MSS 链路上 IP 分组的分组到达过程、缓冲区大小、调度和成帧机制能够假设合适的模型，缓冲时延 T_{buffer} 可以由排队分析或某种形式的仿真研究来导出。

在 ITU-T Y.1541 建议书中，分组传输时延的性能指标定义为平均 IPTD。

对时延敏感应用，不允许分组重传， $IPTD_{sat}$ 的均值 $\overline{IPTD_{sat}}$ 可以简单地求 $T_{n,propagation}$ 、 $T_{n,processing}$ 和 T_{buffer} 之和来得到。

对差错敏感应用， $\overline{IPTD_{sat}}$ 取决于所采用的 ARQ 机制。

对于停止一等待型 ARQ， $\overline{IPTD_{sat}}$ 推导如下：

$$\overline{IPTD_{sat}} = \bar{x} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda x)} - (T_{propagation} + T_{ack,processing}) \quad (4)$$

$$\bar{x} = \frac{T_D}{1-p} \quad (5)$$

$$\bar{x}^2 = \frac{T_D^2(1+p)}{(1-p)^2} \quad (6)$$

其中：

λ : 分组到达速率（分组/s）

p : IP 误分组率，即 *IPER*

T_D : MSS 链路往返时延， $T_D = 2T_{propagation} + T_{data,processing} + T_{ack,processing}$

$T_{propagation}$: MSS 链路平均传播时延

$T_{data,processing}$ $T_{ack,processing}$: 分别为数据分组和应答分组的平均处理时延。

对于退回 N 型 ARQ， $\overline{IPTD_{sat}}$ 推导如下：

$$\overline{IPTD_{sat}} = \bar{x} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} + (T_{propagation}) \quad (7)$$

$$\bar{x} = T_{data,processing} + T_D \cdot \frac{p}{1-p} \quad (8)$$

$$\bar{x}^2 = T_{data,processing}^2 + 2T_{data,processing} \cdot T_D \cdot \frac{p}{1-p} + T_D^2 \cdot \frac{p(1+p)}{(1-p)^2} \quad (9)$$

最后，对于选择重发型 ARQ， $\overline{IPTD_{sat}}$ 推导如下：

$$\overline{IPTD_{sat}} = \bar{x} + (T_D - T_{data,processing}) \cdot \frac{p}{1-p} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} + T_{propagation} \quad (10)$$

$$\bar{x} = \frac{T_{data,processing}}{1-p} \quad (11)$$

$$\bar{x}^2 = T_{data,processing}^2 \frac{1+p}{(1-p)^2} \quad (12)$$

5 IP 分组时延变化

IP 分组时延变化 (IPDV) 的推导在 ITU-T Y.1541 建议书的附录 IV 中给出, 这里必须考虑各种不同的影响因素。此外, 传播时延的波动也影响非 GSO MSS 链路上 IP 分组数据传输中的 IPDV, 传播时延变化的典型值可以在 ITU-R M.1636 建议书中找到。MSS 链路上总的 IPTV 应当考虑前面提到的因素, 但太复杂不能够由排队分析导出。导出 MSS 链路 IPDV 一个可行的方法是测量现有的典型的 MSS 系统或者通过仿真得到 IPTD 的分布函数。

附件 3

优化 MSS 中 IP 分组数据应用性能的指导方针

1 引言

在当今的互联网通信中, TCP 是 IP 层之上最主要的传输层协议。采用 TCP 的 IP 分组传输的性能主要由传输带宽和传输时延决定。当传输时延增大时, 例如卫星通信链路, TCP 的吞吐量性能将会显著恶化。例如, 假定往返时间是 200 ms、窗口尺寸是 8 k 字节, 那么无论采用多大的接入网络带宽, TCP 的吞吐量均限制在 310 kbit/s。

为解决 MSS 链路中的大传输时延, 允许 TCP 使用超过 64 k 字节的窗口尺寸的窗口标定选项广泛应用于最近工作系统中的各种 TCP 内核软件模块中。本节描述了针对大传播时延的 TCP 窗口标定调整。

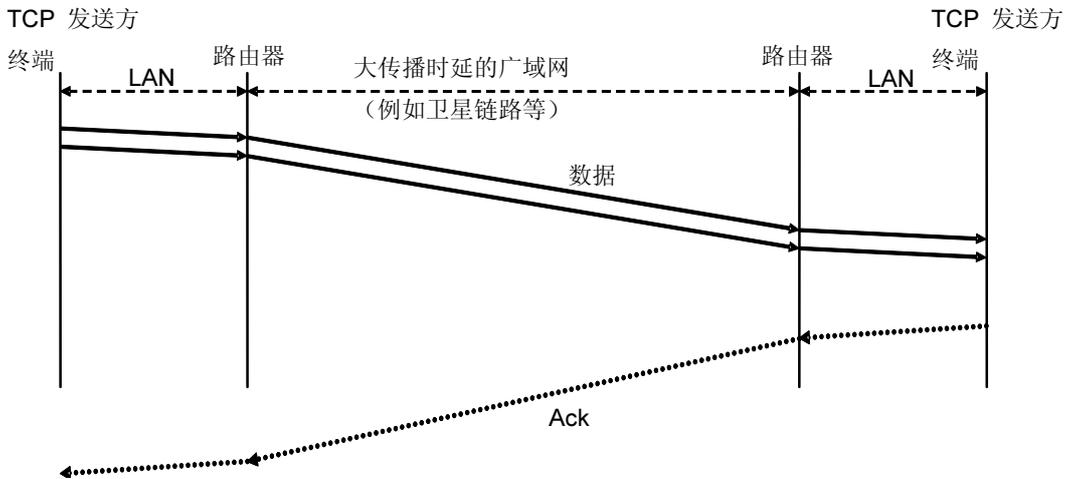
2 大传播时延下端到端通信的问题

如图 1 所示, TCP 以端到端为基础执行终端之间的基于滑动窗机制的流量控制。数据的流量控制是由 PC 或工作站上的 TCP 内核软件来完成。窗口尺寸用于控制数据流, 并且它规定了能够发送的没有被应答的数据量。采用的 TCP 窗口的最大尺寸通常为 64 k 字节和 8 k 字节。

如果链路的传播时延较大时, 小窗口尺寸存在严重缺陷, 例如美国东海岸到日本之间通过光缆的传播时延是 80 ms。如图 1 所示, 由于 ACK 在数小时内没有被发回, 即使接入链路空闲 TCP 发送终端也不能发送数据。

图 1

窗口大小不够大时端到端流量控制的顺序

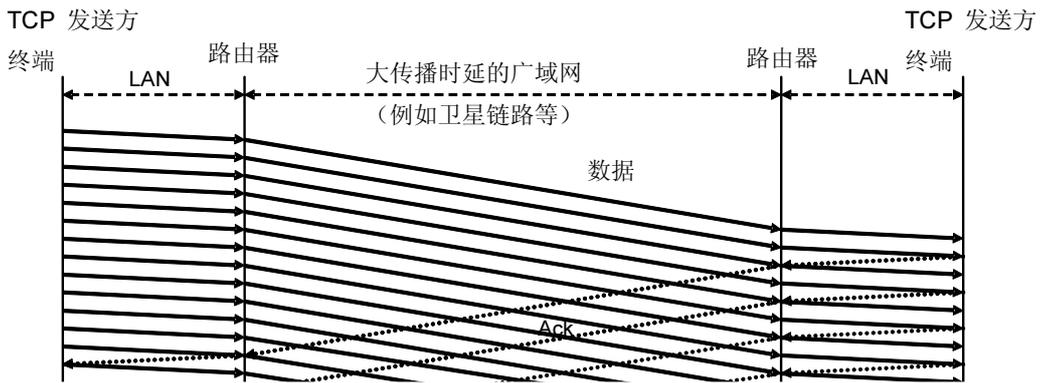


3 增强 TCP 吞吐量性能的方法

TCP 参数调整是增强 TCP 吞吐量性能的解决办法之一。关键的 TCP 参数是最大 TCP 窗口大小。特别是在卫星链路作为广域网一个组成部分的情况下，超过 64 k 字节的大窗口尺寸是所要求的。然而，传统的 TCP 软件不允许超过 64 k 字节的最大窗口大小。为了解决这个问题，在较大时延环境中，当前规定采用 TCP 扩展来获得更高的性能。窗口标定选项就是针对此目的的 TCP 扩展之一。即使采用卫星链路，它也能够获得高的 TCP 吞吐量性能。就如图 2 所阐述的，在大传播时延环境下，TCP 发送终端能够始终发送数据。

图 2

具有足够大窗口尺寸时端到端流量控制的顺序



4 估计的 TCP 吞吐量

假设在广域网中没有 TCP 段丢失，估计的 TCP 吞吐量可以根据下式计算：

$$\text{“估计的 TCP 吞吐量”} = \frac{\text{“最大 TCP 窗口大小”}}{\text{“TCP 发送方和接收方之间的 RTT (往返时间)”} + \text{“发送端 TCP 段的发送时间”}}$$

表 1 给出了两种类型的 TCP 最大窗口大小下 RTT 和估计的吞吐量之间的关系。这些值是在 MTU（最大段尺寸）为 1 460 字节（即最大传输单元为 1 500 字节）和作为瓶颈带宽的发送方接入线速率为 400 kbit/s（即发送方 TCP 段的发送时间是 0.03 s）的条件下计算得到的。

表 2
估计的 TCP 吞吐量

	最大窗口大小= 64 k 字节	最大窗口大小= 512 k 字节
RTT = 50 ms	6.55 Mbit/s	52.4 Mbit/s
RTT = 360 ms	1.34 Mbit/s	10.8 Mbit/s
RTT = 1 000 ms	0.51 Mbit/s	4.07 Mbit/s
RTT = 2 000 ms	0.26 Mbit/s	2.07 Mbit/s

根据附件 1 中表 1 的结果，TCP 最大窗口大小需要根据 TCP 发送方和接收方之间的 RTT 来调整。应当注意，如果瓶颈带宽低于计算的结果，估计的 TCP 吞吐量必须和瓶颈带宽（即 MSS 链路的带宽）一致。因此，如果表 1 中的 TCP 吞吐量低于瓶颈带宽（即 MSS 中卫星接入链路的带宽），则 TCP 最大窗口大小应该更大一些，以便带宽能够被 IP 分组传输充分地利用。

5 增强 TCP/IP 性能的其他方法

在卫星传输信道中 TCP/IP 性能增强的另一种可能的方法是分段法。这种方法将端到端的 TCP 会话分割成两段或三段，使得具有大传输时延的卫星链路段不会恶化端到端 TCP/IP 的性能。ITU-R 已经研究了这种分段方法，并且此研究的结果已经包含在 ITU-R S.1711 建议书中。带有实验测试结果的 ITU-R S.1711 建议书详细描述了这种方法以及它对 TCP/IP 性能增强的影响。