

国际电信联盟

**ITU-T**

国际电信联盟  
电信标准化部门

**Y.1540**

(12/2019)

Y系列：全球信息基础设施、  
网际协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市  
网际协议问题 – 服务质量和网络性能

---

**网际协议数据通信服务 –  
IP分组传输和可用性性能参数**

ITU-T Y.1540 建议书

ITU-T



ITU-T Y系列建议书

全球信息基础设施、网际协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市

全球信息基础设施	
概要	Y.100–Y.199
业务、应用和中间件	Y.200–Y.299
网络方面	Y.300–Y.399
接口和协议	Y.400–Y.499
编号、寻址和命名	Y.500–Y.599
运营、管理和维护	Y.600–Y.699
安全	Y.700–Y.799
性能	Y.800–Y.899
网际协议问题	
概要	Y.1000–Y.1099
业务和应用	Y.1100–Y.1199
体系、接入、网络能力和资源管理	Y.1200–Y.1299
传输	Y.1300–Y.1399
互通	Y.1400–Y.1499
<b>服务质量和网络性能</b>	<b>Y.1500–Y.1599</b>
信令	Y.1600–Y.1699
运营、管理和维护	Y.1700–Y.1799
计费	Y.1800–Y.1899
通过下一代网络提供IPTV	Y.1900–Y.1999
下一代网络	
框架和功能架构模型	Y.2000–Y.2099
服务质量和性能	Y.2100–Y.2199
业务方面：业务能力和业务体系	Y.2200–Y.2249
业务方面：NGN中业务和网络的互操作性	Y.2250–Y.2299
NGN的改进	Y.2300–Y.2399
网络管理	Y.2400–Y.2499
网络控制体系和协议	Y.2500–Y.2599
基于分组的网络	Y.2600–Y.2699
安全	Y.2700–Y.2799
通用移动性	Y.2800–Y.2899
运营商级开放环境	Y.2900–Y.2999
未来网络	Y.3000–Y.3499
云计算	Y.3500–Y.3999
物联网以及智慧城市和社区	
概要	Y.4000–Y.4049
定义和术语	Y.4050–Y.4099
需求和用例	Y.4100–Y.4249
基础设施、连接性和网络	Y.4250–Y.4399
框架、架构和协议	Y.4400–Y.4549
业务、应用、计算和数据处理	Y.4550–Y.4699
管理、控制和性功能	Y.4700–Y.4799
标识和安全	Y.4800–Y.4899
评价和评估	Y.4900–Y.4999

欲进一步了解详细信息，请查阅ITU-T建议书清单。

## 网际协议数据通信服务 – IP分组传输 和可用性性能参数

### 摘要

ITU-T Y.1540建议书定义了可用于指定和评估区域与国际网际协议（IP）数据通信服务之IP分组传输速度性能、精度、可靠性和可用性的参数。根据第2节中规定的规范性参考文献，定义的参数适用于端到端、点对点的IP服务以及提供或有助于提供此类服务的网络段。无连接传输是本建议书中考虑的IP服务的一个突出问题。

继二十多年来作为一份有效的建议书后，2019版认可了在IP服务设计和最终用户所用协议方面的诸多变化。它引入了新的附录A，以符合评估的方式定义了IP层容量参数，并对IP层容量的测量方法提出了要求。这一新附件是多年研究的结果，应用了ITU-T第12研究组关于依据实验室和现场测量中的“基本事实”参考准确评估性能参数和测量方法的基本原则。与流量相关的吞吐量参数和测量方法（可靠的传送传输）仍有待进一步研究，本文明确区分了这两个IP层容量参数。同样，描述特定可靠传输层协议（TCP）性能的参数仍有待进一步研究，并认识到有关互联网的可靠传输协议在不断变化中，是正在开展研究的主题。

附录B为附录A中定义的IP容量测量方法提供了第二种能力更强的搜索算法。

### 历史沿革

版本	建议书	批准日期	研究组	唯一识别码*
1.0	ITU-T I.380	1999-02-26	13	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/4573">11.1002/1000/4573</a>
1.0	ITU-T Y.1540	1999-02-26	13	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/5302">11.1002/1000/5302</a>
2.0	ITU-T Y.1540	2002-12-14	13	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/6189">11.1002/1000/6189</a>
2.1	ITU-T Y.1540 (2002) Amd. 1	2003-08-01	13	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/6975">11.1002/1000/6975</a>
3.0	ITU-T Y.1540	2007-11-13	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/9270">11.1002/1000/9270</a>
3.1	ITU-T Y.1540 (2007) Amd.1	2009-03-19	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/9727">11.1002/1000/9727</a>
4.0	ITU-T Y.1540	2011-03-01	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/11079">11.1002/1000/11079</a>
4.1	ITU-T Y.1540 (2011) Amd.1	2016-01-21	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12761">11.1002/1000/12761</a>
5.0	ITU-T Y.1540	2016-07-29	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12975">11.1002/1000/12975</a>
6.0	ITU-T Y.1540	2019-12-05	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/13933">11.1002/1000/13933</a>
6.1	ITU-T Y.1540 (2019) Amd. 1	2020-02-06	12	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/14161">11.1002/1000/14161</a>

\* 欲查阅建议书，请在您的网络浏览器地址域键入URL <http://handle.itu.int/>，随后输入建议书的唯一识别码，例如，<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>。

## 前言

国际电信联盟（ITU）是从事电信、信息通信技术（ICT）领域工作的联合国专门机构。国际电联电信标准化部门（ITU-T）是国际电联的一个常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化发布有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定ITU-T各研究组的研究课题，而后由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA第1号决议规定了批准ITU-T建议书须遵循的程序。

属ITU-T研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）合作制定的。

## 注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，也指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性的条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才认为达到了本建议书的合规性要求。“应该”或“必须”等其他一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

## 知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已声明的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其他机构提出的、有关已声明之知识产权的证据、有效性或适用性不表明任何意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的、有关受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新的信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2022

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## 目录

页码

1	范围 .....	1
2	参引 .....	3
3	缩写词和首字母缩略语 .....	4
4	IP服务的性能分层模型.....	6
5	通用IP服务性能模型.....	6
5.1	网络组件 .....	7
5.2	交换链路和网络段 .....	8
5.3	测量点和可测量的段 .....	9
5.4	IP分组传输参考事件 (IPRE) .....	10
5.5	IP分组传输结果.....	11
6	IP分组传输性能参数.....	17
6.1	分组资质 .....	17
6.2	IP分组传输延迟.....	18
6.3	IP分组错误率 (IPER) .....	20
6.4	IP分组丢失率 (IPLR) .....	20
6.5	虚假的IP分组速率.....	20
6.6	IP分组重新排序率 (IPRR) .....	20
6.7	IP分组严重丢失块率 (IPSLBR) .....	21
6.8	IP分组重复率 (IPDR) .....	21
6.9	复制的IP分组率 (RIPR) .....	21
6.10	流修复参数 .....	21
6.11	容量参数 .....	22
6.12	流量相关的参数 .....	24
7	IP服务可用性.....	25
7.1	IP服务可用性功能.....	25
7.2	IP服务可用性参数.....	26
附件A	– 基于IP的容量和流量相关的参数以及测量方法 .....	27
A.1	背景 .....	27
A.2	IP层接入容量参数和测量方法 (消费者互联网接入) .....	28
A.3	流量相关的吞吐量参数和测量方法 (可靠的传送) .....	31
A.4	确定资质和比较接入测量方法的计划 .....	31
附件B	– 基于IP的容量参数的附加搜索算法 和测量方法 .....	35
B.1	搜索算法 .....	35
附录I	– IP分组路由注意事项.....	40

附录II – IP分组延迟变化的次要术语 .....	41
II.1 引言 .....	41
II.2 分组间延迟变化的定义 .....	41
II.3 单点分组延迟变化的定义 .....	41
II.4 关于应用不同参数的指南 .....	42
附录III – 速率和吞吐量相关的参数 .....	43
附录IV – IP服务可用性状态的测试和 IP服务可用性参数的抽样估计 .....	44
IV.1 IP服务可用性状态的最小测试（针对测试方法和测试集） .....	44
IV.2 IP服务可用性状态的测试（使用序贯概率比测试） .....	44
IV.3 确定IP服务可用性的统计意义的替代测试 .....	46
IV.4 IP服务可用性的抽样评估 .....	47
附录V – IP性能测量方法相关的资料 .....	48
附录VI – 关于IP服务可用性的背景 .....	49
VI.1 引言 .....	49
VI.2 背景 .....	49
VI.3 图VI.1中各区域的定义 .....	49
VI.4 总结 .....	50
附录VII – 用于估计和优化流修复技术的分组性能参数 .....	51
VII.1 引言 .....	51
VII.2 应用层流修复技术的简短描述 .....	52
VII.3 应用层流修复技术的简单模型 .....	52
VII.4 表征流修复变化的性能参数示例 .....	52
VII.5 参数测量和使用的讨论 .....	53
VII.6 其他注意事项 .....	54
附录VIII – IP层容量框架 .....	55
VIII.1 引言 .....	55
VIII.2 术语以及与IETF RFC 5136的关系 .....	55
VIII.3 有待进一步研究的项目 .....	56
附录IX – 关于基于TCP的测量无法充分满足规范性要求的解释 .....	57
IX.1 引言 .....	57
IX.2 与规范性要求的比较 .....	57
附录X – 实验室（第1阶段）和现场（第2阶段）结果概述： 附件A评估计划 .....	59
X.1 引言 .....	59
X.2 第1阶段实验室测试设置 .....	59
X.3 详细的测试设置 .....	60
X.4 测试工具 .....	61

X.5	利用iPerf 2校准报告的结果 .....	61
X.6	测试方法和结果总结 .....	62
X.7	比较测得容量与校准PHY速率的测试总结 .....	62
X.8	比较测得容量与往返延迟的测试总结 .....	63
X.9	具有竞争流量的测试总结 .....	64
X.10	利用早期实现的新UDP测试工具进行的测试 .....	66
X.11	低水平分组丢失影响的测试 .....	67
X.12	检查测试工具和平台的最大传输限制 .....	67
X.13	检查对UDP流有早期损伤的测试 .....	68
X.14	检查测试中使用的TBF整形器参数以及与监管器滤波器的比较 .....	68
X.15	第1阶段实验室测试总结 .....	68
X.16	平台规范 .....	68
X.17	第2阶段现场测试结果汇总 .....	69
附录XI	– 互联网接入相关的QoS和QoE研究简述 .....	70
XI.1	引言 .....	70
XI.2	主要结果 .....	70
XI.3	分析与QoS和QoE测量相关的研究出版物 .....	71
XI.4	互联网接入性能相关的一般趋势 .....	75
附录XII	– 精确的比特率测量 .....	77
XII.1	引言 .....	77
XII.2	主要结果 .....	77
XII.3	报头大小造成的带宽测量误差估计 .....	78
XII.4	有线IEEE 802.3以太网接口的开销计算示例 .....	79
XII.5	令牌桶过滤器功能的描述 .....	80
附录XIII	– 基于IP的流量相关参数和测量方法 .....	81
XIII.1	背景 .....	81
XIII.2	为什么MBM符合本建议书的要求 .....	81
XIII.3	MBM测量方法的作用和状况 .....	82
XIII.4	测试流选择 .....	82
XIII.5	测量点 .....	83
XIII.6	目标模型参数规范 .....	83
XIII.7	设定验收标准并解释结果 .....	83
XIII.8	测试方法 .....	83
XIII.9	示例 .....	83
参考文献	.....	84





## 网际协议数据通信服务 – IP分组传输 和可用性性能参数

### 1 范围

ITU-T Y.1540建议书定义了可用于指定和评估区域与国际网际协议（IP）数据通信服务之IP分组传输速度性能、精度、可靠性和可用性的参数。根据第2节中规定的规范性参考文献，定义的参数适用于端到端、点对点的IP服务以及提供或有助于提供此类服务的网络段。无连接传输是本建议书中考虑的IP服务的一个突出问题。

对本建议书而言，端到端IP业务是指按照两个端主机完整的IP地址的规定，在两个端主机之间传送用户生成的IP数据报（在本建议书中称为IP包）。这不同于其他一些建议中“端到端”一词所暗示的边界。例如，[ITU-T P.10]将端到端质量定义为与通信系统（包括所有终端设备）的性能相关。对于语音服务，端到端相当于口耳相传的质量。

注1 – 本建议书定义了可用于表征使用网际协议版本4（IPv4）和网际协议版本6（IPv6）提供的IP服务的参数；本建议书对其他协议（如资源预留协议（RSVP））的适用性或扩展有待进一步研究。

注2 – 目前正在制定关于点对多点IP服务性能的建议书。

[ITU-T Y.1540]性能参数和测量方法（如有规定）旨在用于规划和提供区域与国际IP服务。本建议书的预期用户包括IP服务提供商、设备制造商、最终用户（IP服务的签约用户）以及寻求评估和/或监测IP服务的其他人。本建议书可被服务提供商用于规划、开发和评估满足用户性能需求的IP服务，可被设备制造商用作影响设备设计的性能信息，并可被最终用户用于评价IP服务的性能。

图1概述了本建议书的范围。IP服务性能参数是根据IP分组传输参考事件（IPRE）定义的，这些事件可以在与指定功能和管辖边界相关的测量点（MP）上观察到。为了可比性和完整性，IP服务性能在[ITU-T I.350]中定义的3 x 3性能矩阵的背景下予以考虑。矩阵中确定了三个独立于协议的通信功能：接入、用户信息传输和断开。每项功能都考虑了三个一般性能问题（或“性能指标”）：速度、精度和可靠性。相关的双态模型为描述IP服务可用性奠定了基础。

注3 – 在本建议书中，图1所示的用户信息传输功能是指任何IP分组的尝试传输，无论其类型或内容如何。

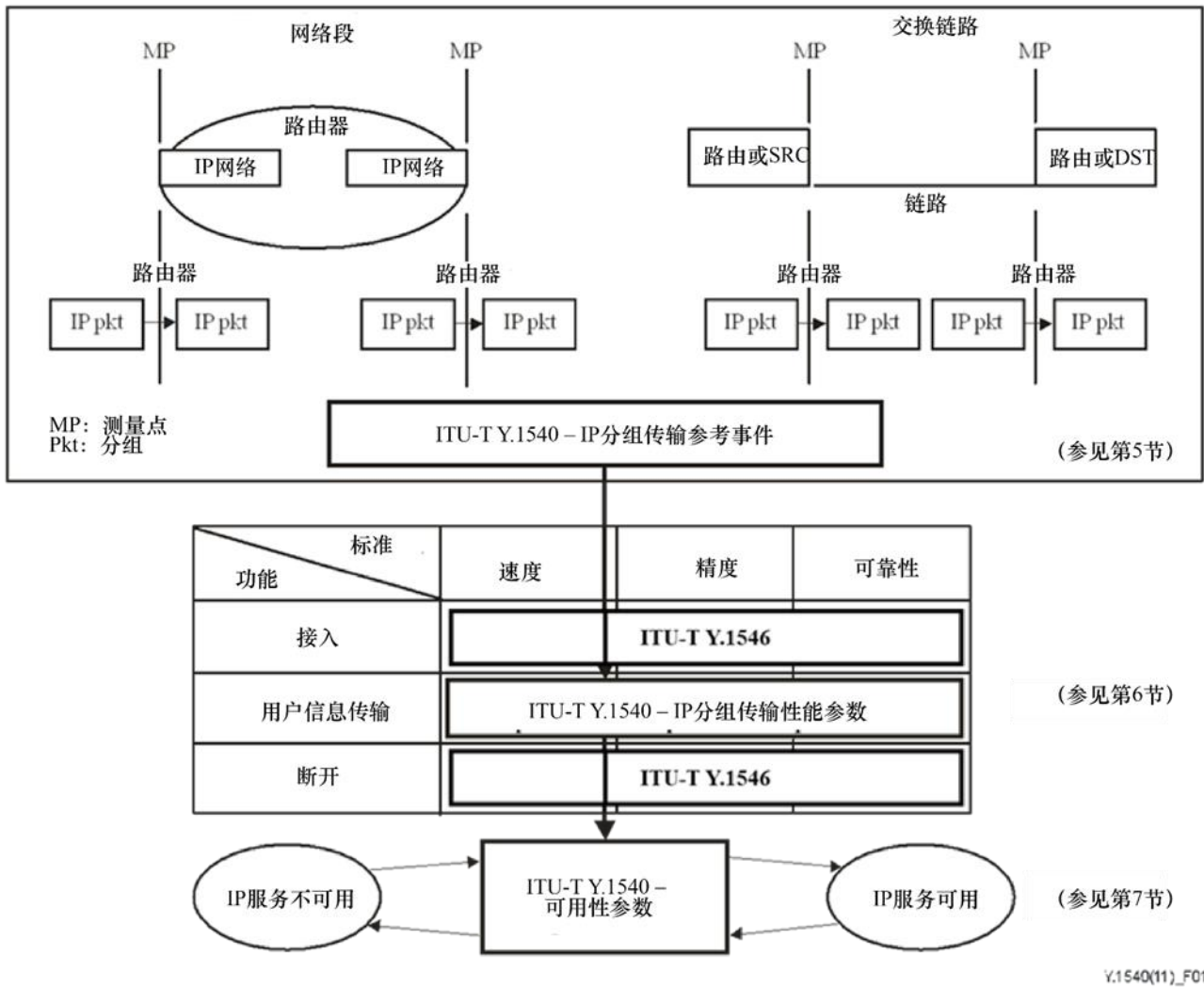


图 1 - 本建议书的范围

本建议书中定义的性能参数描述了由IP数据通信服务提供的IP分组传输的速度、精度、可靠性和可用性。提供接入和断开功能（例如域名服务）和更高层传输能力（例如传输控制协议）的区域和国际IP服务的端到端性能已在单独的建议书中做了论述，例如基于IP的服务可用性的[ITU-T Y.1546]附件C。

本建议书的结构如下：第1节规定其范围；第2节规定其规范性参考文献；第3节提供缩写词清单；第4节说明创建IP性能规范背景的分层模型；第5节定义用于IP性能模型，包括网络段和测量点、参考事件和结果；第6节使用该模型定义IP分组传输性能参数；第7节定义IP服务可用性参数。

附件A以符合评估要求的方式定义了IP容量参数，并提供了有关测量方法的需求，以及在实验室和（现场）生产网络中评价候选测量方法的计划（在2019年版本中新增）。附录I描述了IP分组路由注意事项及其对性能的影响。附录II提供了IP分组延迟变化的次要术语。附录III（速率和吞吐能力相关参数）在2019版中被否决。附录IV描述了IP服务可用性的估计。附录V给出了测量[ITU-T Y.1540]参数的注意事项。附录VI给出了一些关于IP服务可用性的背景知识。附录VII提供了关于流修复参数的背景信息。附录VIII增加了关于容量参数的信息（包括与先前IETF指标的映射和有待进一步研究的项目）。附录IX解释了为什么基于TCP的测量不符合第6.12节的规范性要求。

2019年版本增加了许多新的附录。新的附录 – 附录X提供了支持IP容量参数和测量方法的大量背景材料，包括实验室和现场测试结果的总结，对不同的测量方法进行了比较。附录XI包含一份学术论文调查报告，描述了进行类似比较的测量活动。附录XII包含在协议栈的不同层上进行精确比特率测量和比较所需的计算细节。附录XIII提供了基于IP的流量相关参数和测量方法的信息，以供进一步研究，并指明了IP容量度量 and 测量方法的补充作用。

注4 – ITU-T Y.1540参数可根据对所支持IP应用（例如，交互、块、流）需求的进一步研究而做扩充或修改。

注5 – ITU-T Y.1540的速度、精度和可靠性参数旨在表征可用状态下的IP服务。

注6 – 本建议书中定义的参数可用于由其IP地址标识的两台终端主机之间的单个端到端IP服务。这些参数也可用于那些来自给定的端到端IP服务的IP分组，这些IP分组被提供给某给定的网络或交换链路（EL）。

注7 – ITU-T Y.1540参数旨在表征指定段边界之间的网络元素所提供服务的性能。不过，本建议书的用户应该知道，指定边界之外的网络元素有时会影响边界之间元素的测量性能。附录V描述了一些例子。

注8 – 本建议书中定义的参数也可用于提供给某给定网络设备组的IP分组的任何子集。在一组网络设备或整个网络上聚合性能的方法不在本建议书的讨论范围内。

注9 – 本建议书不提供明确表征路由稳定性的工具。不过，路由不稳定性的影响可以使用本建议书中定义的丢失、延迟和严重丢失块参数进行量化。

注10 – 可以在[ITU-T Y.1541]中找到关于某些ITU-T Y.1540性能参数的数值性能目标的规范说明。

注11 – 本建议书中使用的“暂时”一词意味着对所参考值的稳定性达成共识，但该值可能会在进一步研究后或根据真实的网络运行经验发生变化。

## 2 参引

所有建议书和其他参考文献都面临修订，使用本建议书的各方应探讨使用本建议书和其他参考文献最新版本的可能性。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书中引用某个独立文件，并非确定该文件具备建议书的地位。

[ITU-T I.350] ITU-T I.350建议书（1993年），包括ISDN在内的数字网络中服务质量和网络性能的一般性问题。

[ITU-T P.10] ITU-T P.10/G.100建议书（2017年），性能和体验质量词汇表。

[ITU-T Y.1541] ITU-T Y.1541建议书（2011年），IP服务的网络性能目标。

[ITU-T Y.1546] ITU-T Y.1546建议书（2014年），多址网络间的切换性能。

[ITU-T Y.1565] ITU-T Y.1565建议书（2011年），家庭网络性能参数。

[IETF RFC 791] IETF RFC 791（1981年），网际协议。

<<http://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt>>

[IETF RFC 4737] IETF RFC 4737（2006年），分组重新排序度量。

<<http://www.ietf.org/rfc/rfc4737.txt>>

[IETF RFC 5136] IETF RFC 5136（2008年），定义网络容量。

<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5136.txt>>

[IETF RFC 5481] IETF RFC 5481（2009年），分组延迟变化适用性声明。

<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5481.txt>>

[IETF RFC 8200] IETF RFC 8200（2017年），网际协议版本6（IPv6）规范。

<<http://www.ietf.org/rfc/rfc8200.txt>

[IETF RFC 8337] IETF RFC 8337（2018年），基于模型的批量传输能力度量。

<<http://www.ietf.org/rfc/rfc8337.txt>

### 3 缩写词和首字母缩略语

本建议书使用以下缩写词和首字母缩略语：

ARQ	自动重复请求
ATM	异步传输模式
BTC	批量传输能力
DSCP	区分服务编码值
DST	目标主机
EL	交换链路
ER	边缘路由器
FEC	前向纠错
FTP	文件传输协议
HTTP	超文本传输协议
IP	网际协议
IPDR	网际协议分组重复率
IPDV	网际协议分组延迟变化
IPER	网际协议分组错误率
IPIBR	网际协议分组受损块率
IPIIR	网际协议分组受损间隔率
IPLR	网际协议分组丢失率
IPOR	基于八位字节的IP分组速率
IPPM	IP性能度量
IPPR	网际协议分组速率
IPRE	网际协议分组传输参考事件
IPRR	网际协议分组重新排序率
IPSLB	网际协议分组严重丢失块结果
IPSLBR	网际协议分组严重丢失块率
IPTD	网际协议分组传输延迟
IPv4	网际协议版本4
IPv6	网际协议版本6
ISP	互联网服务提供商
LL	低层（支持网际协议层的协议和技术）
M <sub>av</sub>	建议用于评估可用性状态的最小分组数量

MBM	基于模型的度量
MP	测量点
MTBISO	IP服务中断之间的平均时间
MTTISR	网际协议服务恢复的平均时间
N	大小为N的吞吐量探测器中的分组数量
NS	网络段
NSE	网络段集合
NSP	网络服务提供商
PDH	准同步数字系列
PDV	分组延迟变化
PIA	网际协议服务可用性百分比
PIU	网际协议服务不可用性百分比
QoS	服务质量
R	路由器
RIPR	复制的网际协议分组率
RSVP	资源预留协议
RTCP	实时控制协议
RTO	重传超时
RTP	实时传输协议
RTT	往返时间
SDH	同步数字系列
SPRT	序贯概率比测试
SRC	源主机
STD	标准
$T_{av}$	网际协议可用性的最短时间长度；网际协议不可用性的最短时间长度
TBF	令牌桶过滤器
TCP	传输控制协议
$T_{max}$	最大网际协议分组延迟，超过此延迟，分组将被宣布丢失
ToS	服务类型
$T_s$	在严重丢失块结果中定义块的时间长度
TTL	生存时间
UDP	用户数据报协议

## 4 IP服务的性能分层模型

图2说明了IP服务性能的分层特性。向IP服务用户提供的性能取决于其他层的性能：

- 提供（通过“链路”）支持IP层的面向连接或无连接传输的较低层（LL）。链路在转发IP分组的点（即“路由器”、“SRC”和“DST”）上终结，因此没有端到端的意义。链路可能涉及不同类型的技术，例如异步传输模式（ATM）、帧中继、同步数字系列（SDH）、准同步数字系列（PDH）、综合业务数字网（ISDN）和租用线路。在IP层下面可能有几层协议和服务，这些最终将利用各种类型的物理媒质；
- 提供IP数据报（即IP分组）无连接传输的IP层。对于给定的一对源和目的IP地址，IP层具有端到端的意义。网络可以修改IP分组报头中的某些元素，但不能在IP层或IP层以下修改IP用户数据；
- 由IP支持的较高层进一步实现端到端通信。上层可以包括例如传输控制协议（TCP）、用户数据报协议（UDP）、文件传输协议（FTP）、实时传输协议（RTP）和超文本传输协议（HTTP）。较高层将修改并可能增强IP层上提供的端到端性能。

注1 – 第5节定义了一个IP服务性能模型，并更准确地定义了该分层模型中使用的关键术语。

注2 – 对这些层之间的性能相互作用有待进一步研究。

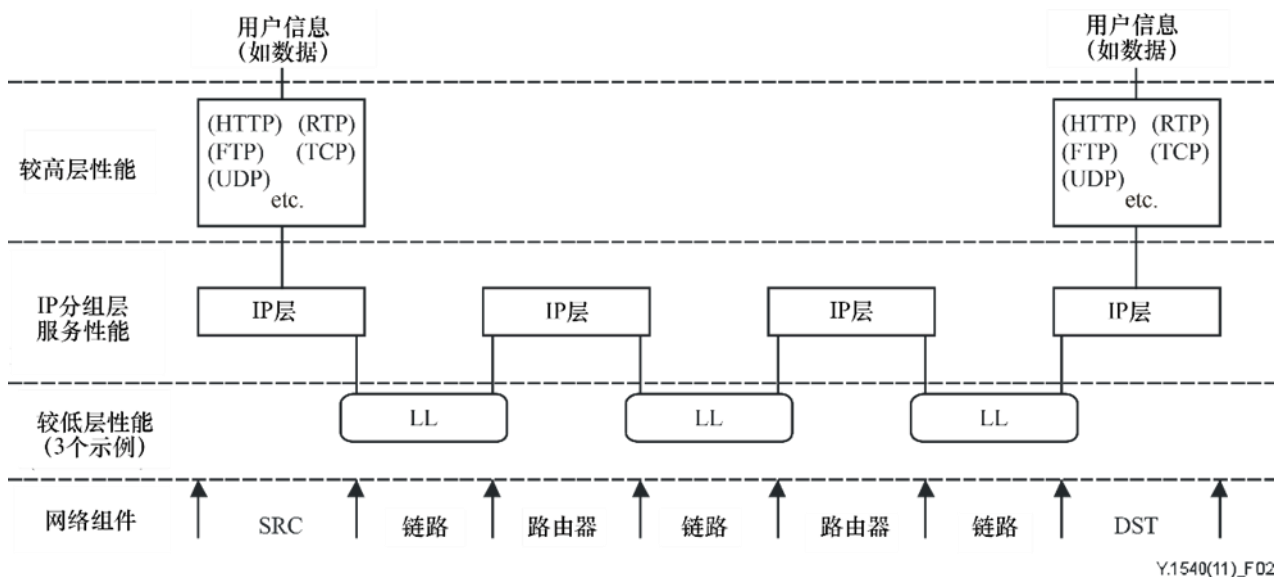


图 2 – IP服务性能的分层模型 – 示例

## 5 通用IP服务性能模型

本节定义了一个通用IP服务性能模型。该模型主要由两种类型的段组成：交换链路和网络段（NS）。这些在第5.2节中进行定义。它们为任何端到端的IP服务提供了构建模块。本建议书中定义的每个性能参数都可以应用于一个段或一组串联段上的单向IP分组传输。

第5.4节规定了为性能参数定义提供基础的一组IP分组传输参考事件。这些参考事件源自相关的IP服务和协议定义，并与之保持一致。而后第5.5节使用这些参考事件来列举当一个分组被传递到一个段时可能的结果。

注 – 将ITU-T Y.1540性能模型和参考事件的全部或部分纳入[b-ITU-T I.353]旨在做进一步研究。

## 5.1 网络组件

### 5.1.1 主机

一台主机指的是使用网际协议进行通信的一台计算机。它实现路由功能（即，它工作于IP层），并可实现包括较高层协议（例如，源或目的主机（DST）中的TCP）和较低层协议（例如，ATM）的附加功能。

### 5.1.2 路由器

一台路由器指的是一台通过根据其IP目的地址字段的内容转发IP分组来实现其他主机之间通信的主机。

### 5.1.3 源主机（SRC）

一台源主机指的是一台主机和一个完整的IP地址，端到端IP分组即来自于此。一般来说，一台主机可有多IP地址；不过，一台源主机（SRC）是与单个IP地址的唯一关联。当实现较高层协议（例如，TCP）时，源主机也会发起这种协议。

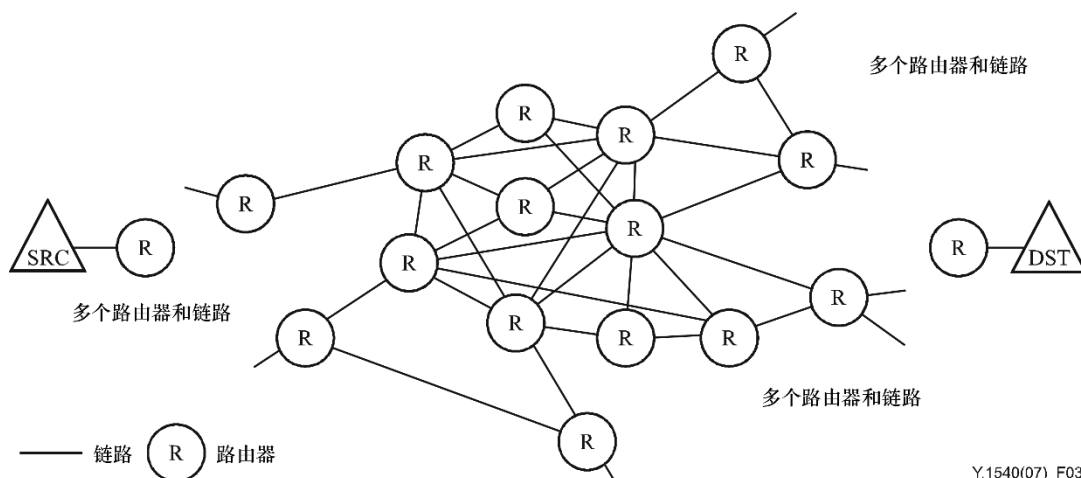
### 5.1.4 目的主机（DST）

一台目的主机指的是一台主机和一个完整的IP地址，端到端IP分组即终结于此。一般来说，一台主机可有多IP地址；不过，一台目的主机是与单个IP地址的唯一关联。当实现较高层协议（例如，TCP）时，目的主机也会终结这种协议。

### 5.1.5 链路

一条链路指的是一个点对点（物理的或虚拟的）连接，用于在一对主机之间传输IP分组。它不包括主机的任何部分或任何其他主机；它工作于IP层下。例如，一条链路可以是一条租用的线路，也可以实现为以太网、帧中继网络、ATM网络或工作于IP层下的任何其他网络技术上的一个逻辑连接。

图3显示了与SRC和DST之间IP服务相关的网络组件。链路可以是拨号连接、租用线路、环或网络，它们被表示为主机之间的线路。路由器显示为圆形，SRC和DST显示为三角形。



Y.1540(07)\_F03

图 3 – IP网络组件



## 5.2 交换链路和网络段

### 5.2.1 交换链路（EL）

这是连接以下设备的链路：

- 1) 可能在另一辖区中的其相邻主机（例如，路由器）的一个源主机或目的主机，有时被称为接入链路、入口链路或出口链路；或者
- 2) 一个网络段中的路由器与另一个网络段中的路由器。

注意：交换链路的责任、容量和性能通常在连接的各方向分摊。

注 – “交换链路”大致相当于[b-IETF RFC 2330]中定义的术语“交换”。

### 5.2.2 网络段（NS）

一个网络段指的是一组主机及其所有互连链路，它们共同提供了SRC与DST之间的部分IP服务，并由一个（或协作的）管辖机构负责。一些网络段由没有互连链路的单个主机组成。源NS和目的NS是网络段的特例。成对的网络段通过交换链路相连接。

注 – “网络段”大致相当于[b-IETF RFC 2330]中定义的术语“云”。

通过链路互连的任何主机集都可以被视为一个网络段。然而，出于IP性能分配的（未来）目的，重点要关注的是单一（或协作）管辖责任下的主机和链路集（例如，互联网服务提供商（ISP）或网络服务提供商（NSP））。这些主机的IP地址通常具有相同的网络标识符。通常，它们有自己的内部路由规则。全局进程和本地策略规定了到该网络段之外的目的地（通过交换链路到其他NS）的路由选择。这些网络段通常由实现IP外部网关协议的路由器来界定。

### 5.2.3 源NS

源NS指的是包括其管辖责任范围内的SRC的NS。在某些情况下，SRC是源NS内唯一的主机。

### 5.2.4 目的NS

目的NS指的是包括其管辖责任范围内的DST的NS。在某些情况下，DST是目的NS内唯一的主机。

图4显示了与SRC和DST之间IP服务相关的网络连接。在每个NS的边缘，网关路由器通过交换链路接收和发送分组。



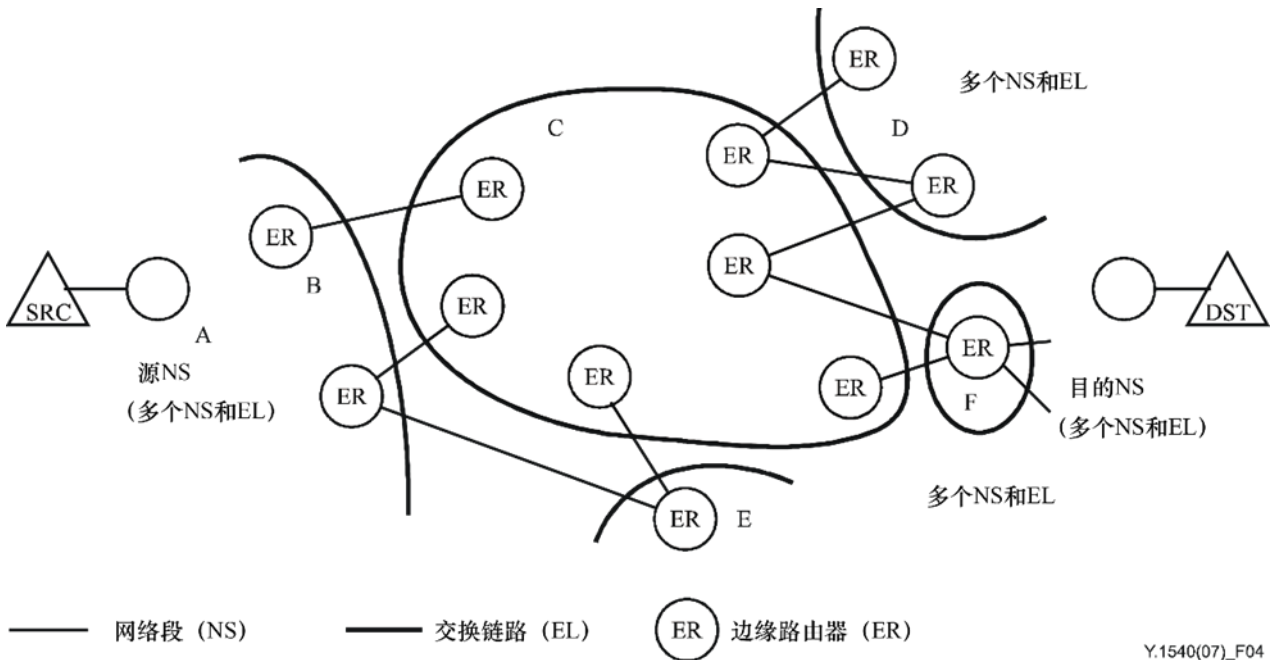


图 4 – IP网络连接

### 5.3 测量点和可测量的段

#### 5.3.1 测量点 (MP)

测量点是主机与相邻链路之间的边界，在测量点上可以观察和测量性能参考事件。与 [b-ITU-T I.353]一致，标准网际协议可以在IP测量点 (MP) 上进行观察。[b-ITU-T I.353]为数字服务提供了更多关于MP的信息。

注 – IP服务MP在IP协议栈内的确切位置有待进一步研究。

如果一个段或多个段的组合由一组MP来限定，那么它是可测量的。在本建议书中，以下段是可测量的。

#### 5.3.2 基本段

基本段可以是一个EL、一个NS、一个SRC或一个DST。基本段由MP来界定。

相对于任何给定的单向端到端IP服务，任何EL或NS的性能都是可测量的。入口MP指的是这样一组MP，即当它们进入该基本段时，来自该服务的分组会穿过这些MP。出口MP指的是这样一组MP，即当它们离开该基本段时，来自该服务的分组会穿过这些MP。

#### 5.3.3 端到端IP网络

传输IP分组的一组EL和NS从SRC传输到DST。绑定端到端IP网络的MP是SRC和DST的MP。

相对于任何给定的单向端到端IP服务，端到端IP网络性能是可测量的。入口MP指的是这样一些MP，即当它们进入SRC的端到端网络时，来自该服务的分组会穿过这些MP。出口MP指的是这样一些MP，即当它们离开DST的端到端网络时，来自该服务的分组会穿过这些MP。

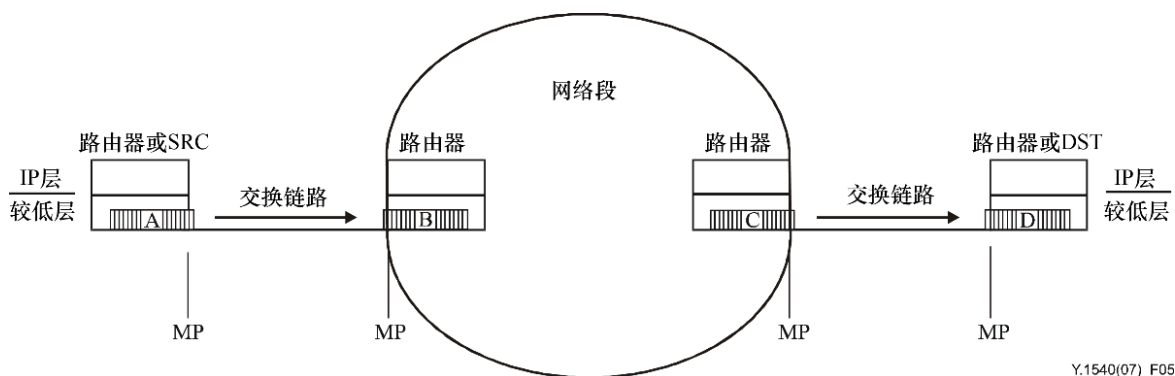
### 5.3.4 网络段集合

网络段集合（NSE）指的是任何连接的NS子集以及将它们互连在一起的所有EI。术语“NSE”可用于指单个NS、两个NS或任意数量的NS及其连接的NS。成对不同的NSE通过交换链路连接。术语“NSE”也可以用来表示整个端到端IP网络。NSE由MP来界定。

相对于任何给定的单向端到端IP服务，任何给定的NSE的性能都是可测量的。入口MP指的是这样一组MP，即当它们进入该NSE时，来自该服务的分组会穿过这些MP。出口MP指的是这样一组MP，即当它们离开该NSE时，来自该服务的分组会穿过这些MP。

### 5.4 IP分组传输参考事件（IPRE）

在本建议书的上下文中，以下定义适用于指定的端到端IP服务。定义的术语如图5所示。



注1 - 分组A和C的IP退出事件  
注2 - 分组B和D的IP进入事件

图 5 - IP分组传输参考事件示例

当出现以下情况时，会出现IP分组传输事件：

- 一个IP分组穿过一个MP； 和
- 应用于分组的标准IP程序验证报头校验和是否有效； 和
- IP分组报头内的源地址和目的地址字段分别代表预期SRC和DST的IP地址。

注 - IP分组报头包含的信息包括服务类型（ToS）或差异化服务代码点（DSCP）。这些信息如何影响分组传输性能有待进一步研究。

IP分组传输参考事件的定义与分组分段无关。无论“更多碎片标志”中包含的值是多少，它们都会出现在跨越任何MP的每个IP分组中。

定义了四种类型的IP分组传输事件：

#### 5.4.1 IP分组进入主机事件

当IP分组从所连接EL穿过MP进入主机（NS路由器或DST）时，会出现IP分组传输进入主机事件。

#### 5.4.2 IP分组退出主机事件

当IP分组穿过MP退出主机（NS路由器或SRC）进入所连接EL时，会出现IP分组传输退出主机事件。

### 5.4.3 IP分组进入基本段或NSE事件

当IP分组穿过入口MP进入基本段或NSE时，会出现IP分组传输进入基本段或NSE事件。

### 5.4.4 IP分组退出基本段或NSE事件

当IP分组穿过出口MP退出基本段或NSE时，会出现IP分组传输退出基本段或NSE事件。

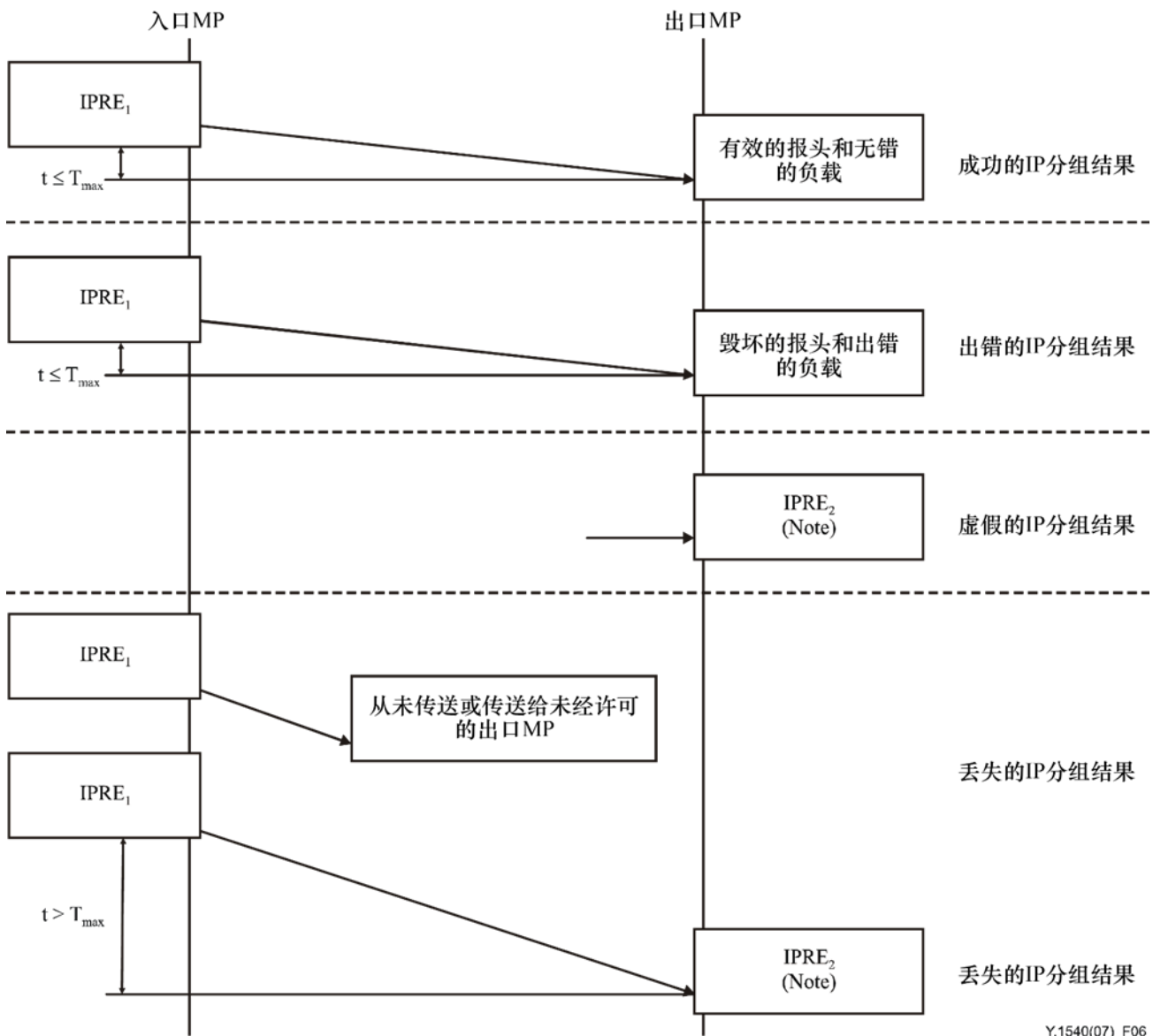
注1 – IP分组进入和退出事件总是分别代表进入和退出一个主机。IP分组进入事件和退出事件总是代表进入和退出一个段或一个NSE。为了说明这一点，注意：进入一个EL会创建一个退出前面主机的事件，而进入一个NS是一个进入事件，因为根据定义，NS总是在其边缘有主机。

注2 – 出于实际测量目的，无需在主机的IP协议栈内观察IP分组传输参考事件。相反，出现这些参考事件的时间可以通过观察IP分组穿过相关物理接口来近似。然而，该物理接口应尽可能靠近期望的MP。在物理接口上监测参考事件的情况下，通过观察来自主机或测试设备的IP分组的第一位，来近似出现退出主机事件的时间。通过观察进入主机或测试设备的IP分组的最后一位，来近似出现进入主机事件的时间。

## 5.5 IP分组传输结果

通过考虑IP分组传输参考事件，可以为试图穿过基本段或NSE的任何分组定义若干可能的IP传输结果。已传输的IP分组要么传输成功、要么出错或者要么丢失。没有为其提供对应IP分组的、已传送的IP分组被认为是虚假的。图6显示了IP分组传输的结果。

IP分组传输结果的定义基于允许的入口MP、允许的出口MP和对应分组的概念。



Y.1540(07)\_F06

注 -结果的出现与IP分组内容无关。

图 6 – IP分组传输结果

### 5.5.1 全球路由信息和允许的输出口链

理论上，在一个连接的IP网络中，一个分组可以被传送给任何路由器、NS或NSE，并且仍到达其目的地。然而，全局路由信息定义了一组有限的目的地址，每个网络（自治系统）都愿意并能够代表其每个相邻的NS。合理的假设是（在最坏的情况下）一个NS将完全丢弃目的地址为该NS已宣布不能（或不愿意）服务的任何分组。因此，离开一个基本段的所有IP分组（和分组片段）都只应在可用的全局路由信息允许的情况下才能转发给其他基本段。

出于性能目的，只有当一个NSE将整个分组内容转发给当前可用的全局路由信息允许的其他基本段时，该NSE的IP分组传输才会被视为成功。如果目的地址对应于直接连接于此NSE的主机，则唯一允许的输出和唯一成功的IP传输是转发给目的主机。

注1 – IP程序包括更新全局路由信息。在更新NS之间共享的路由信息后，一个允许的NS可能不再被允许。或者，在更新全局路由信息后，之前不被允许的NS可能已变得允许了。

注2 – 路由信息可通过关于每个被允许的输出口的相对适用性信息来补充。这些额外信息对性能的影响有待进一步研究。

在给定的时间和相对于给定的端到端IP服务以及基本段或NSE:

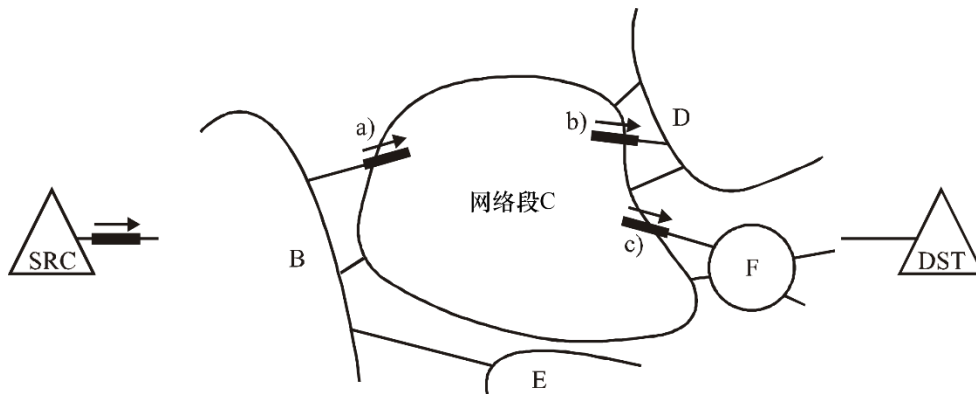
- 如果全局路由信息允许该MP穿过进入该基本段或NSE，则入口MP是允许的入口MP;
- 如果全局路由信息允许该MP穿过进入另一个基本段，则出口MP是允许的出口MP。

### 5.5.2 对应事件

性能分析使得有必要将穿过一个MP的分组与穿过另一个MP的分组相关联。无连接路由意味着一个分组可能会在（可能的）几个允许的出口MP中的任何一个上离开一个基本段。分组分段意味着进入一个基本段的分组可能会以碎片的形式离开，可能会进入其他几个不同的基本段中。最后，无连接IP路由甚至可能将分组或片段发送回它已经穿过的基本段（可能是由于路由表的更新）。

如果IP出口事件是由“相同的”IP分组创建的，则称其对应于较早的入口事件。无论出口MP处的分组是整个分组还是仅为初始分组的一个片段，该概念均适用。图7显示了一种情况，当中一个分组从NS B进入NS C，并在NS C中被分成两个片段。其中一个片段被发送到NS D，另一个片段被发送到NS F。这两个出口事件都对应于单个入口事件。为了避免因分组重新进入NSE而造成的混乱，该对应概念还要求这是该特定内容第一次（自其进入以来）离开NSE。

对IP参考事件是否对应实际确定通常是特别的，并常依赖于对IP地址、全局路由信息、IP分组标识字段、其他报头信息和IP分组内容的考虑。



Y.1540(07)\_F07

从SRC到DST的一个IP分组进入NS C，创建一个入口事件，被分裂，并创建两个对应出口事件b)和c)。

图7 – 出现碎片时的对应事件

### 5.5.3 关于成功的、出错的、丢失的和虚假的分组结果定义的注释

以下各个分组结果的定义均基于在IP测量点观察IP参考事件。通过选择合适的IP测量点，每个定义都可以用来评估特定EL、特定NS、特定NSE的性能，并且它们均可用于端到端服务的性能。

定义这些结果不受特定分组类型（ToS、DSCP、协议等）的限制。IP性能将因分组类型而异。

在每个定义中，通过纳入单个IP参考事件可能导致几个后续事件的可能性，来考虑分组片段的可能性。注意：如果任何片段丢失，则整个初始分组都将被视为丢失。如果没有任何片段丢失，但有些片段出错，则整个初始分组都被视为出错。为了使初始分组的传送被认为是成功的，则每个片段都必须被成功地传送到允许的输出EI中的一个上。

#### 5.5.4 成功的IP分组传输结果

当允许的入口MP<sub>0</sub>上的单个IP分组参考事件在一个（或多个）出口MP<sub>i</sub>上导致一个（或多个）对应参考事件时，将出现成功的分组传输结果，所有这些都发生在初始入口事件的指定时间T<sub>max</sub>内，并且：

- 1) 允许出现对应参考事件的所有出口MP<sub>i</sub>；和
- 2) 在MP<sub>0</sub>上观察到的初始分组的完整内容被包括在所传送分组中；和
- 3) 所传送IP分组信息字段的二进制内容与初始分组的内容完全一致；和
- 4) 所传送分组的报头字段是有效的。

注 – 一般情况下，建议将T<sub>max</sub>的值设为3秒。一些全局端到端路径可能需要更大的T<sub>max</sub>值，以确保长传输时间的分组有足够的机会到达。3秒的值已经在实践中使用。

#### 5.5.5 出错的IP分组结果

当在允许的入口MP<sub>0</sub>上的单个IP分组参考事件在一个（或多个）出口MP<sub>i</sub>上导致一个（或多个）对应参考事件时，出现出错的分组结果，所有这些都出现在初始参考事件的T<sub>max</sub>时间内，并且：

- 1) 允许出现对应参考事件的所有出口MP<sub>i</sub>；和
- 2) 在MP<sub>0</sub>上观察到的初始分组的完整内容被纳入所传送的分组中；和
- 3) 或者：
  - 所传送IP分组信息字段的二进制内容与初始分组的不完全一致；或者
  - 所传送分组的一个或多个报头字段已损坏。

注 – IP层报头校验和未检测到的、带有出错报头的大多数分组将被丢弃或被其他IP层程序重定向（例如，基于地址或ToS/DSCP字段中的损坏）。结果是没有为期望接收该分组的较高层协议创建任何参考事件。由于没有任何IP参考事件，因此这些分组传输尝试将被归类为丢失的分组结果。不会导致丢弃或重定向的出错报头将被归类为出错的分组结果。

#### 5.5.6 丢失的IP分组结果

当在允许的入口MP<sub>i</sub>上存在单个IP分组参考事件时，并且当对应于该入口分组的一些或所有内容的时间T<sub>max</sub>内没有在允许的出口MP<sub>n</sub>上导致IP分组参考事件时，将出现丢失的分组结果。

一个丢失的分组结果实际上可能是一个或多个错误定向的分组结果（未被观察到），如下所述。

当在允许的入口MP<sub>0</sub>上单个IP分组参考事件在一个（或多个）出口MP<sub>i</sub>上导致一个（或多个）对应参考事件时，将出现错误定向的分组，所有这些都出现在初始参考事件的指定时间T<sub>max</sub>内，并且：

- 1) 在MP<sub>0</sub>上观察到的初始分组的完整内容被纳入所传送的分组中；但
- 2) 出现对应参考事件的一个或多个出口MP<sub>i</sub>是不允许的出口MP。

### 5.5.7 虚假的IP分组结果

当单个IP分组创建了一个没有对应入口事件的出口事件时，在端到端IP服务上，对一个基本段，一个NSE，会出现一个虚假的IP分组结果。

### 5.5.8 次要的IP分组结果

以下结果基于上述基本结果。

#### 5.5.8.1 有序的和重新排序的IP分组结果

这些IP分组结果的定义需要一些背景讨论。

按序分组传送是成功的分组传输尝试的一个属性，当中发送分组次序在到达目的主机（或测量点）时被保留。到达次序由相对其他感兴趣分组的位置来确定，尽管给定分组被重新排序的程度可以以位置、时间和负载字节距离为单位来量化。重新排序的分组性能参数与大多数应用相关，尤其是在评估网络对实时媒体流的支持时，因为它们恢复次序的能力是有限的，或者当性能意味着缺乏这种能力时。分组通常包含一些在SRC上应用的唯一标识符，有时被认为是一个序列号，因此该号码或其他信息（例如，来自MP<sub>0</sub>的时间戳）是源端初始次序的参考。评估到达次序还需要确定哪个特定分组是“下一个预期”分组的能力，如果序列号是连续递增的整数，则这将被大大简化。

当在允许的出口测量点上的单个IP分组参考事件导致以下情况时，将出现按序分组结果：

- 分组的序列号大于或等于下一个预期的分组值。增加下一个预期的值，以反映该分组的到达，并设置一个新的预期值。

当在允许的出口测量点上的单个IP分组参考事件导致以下情况时，将出现重新排序或无序的分组结果：

- 分组的序列号小于下一个预期的分组值，因此分组被重新排序。下一个预期的值不会因为该分组的到达而改变。

#### 5.5.8.2 IP分组严重丢失块结果

当出口MP<sub>i</sub>上的丢失分组与块中总的分组之比超过s<sub>1</sub>时，对在入口MP<sub>0</sub>上时间间隔T<sub>s</sub>期间观察到的分组块，将出现IP分组严重丢失块结果（IPSLB）。

时间间隔T<sub>s</sub>的值暂设为10秒。阈值s<sub>1</sub>的值暂设为0.2。评估连续块（时间间隔）应是非重叠的。

注 – 这些值旨在确定因路由更新而导致的IP路径变化，这些会导致大多数用户应用的显著退化。这些值可能会随着进一步的研究和经验而改变。s<sub>1</sub>的较低值将捕获可能影响连接敏感应用之运行的其他网络事件。此外，当使用约1秒的T<sub>s</sub>块长度时，视频和音频应用的显著退化可能与IPSLB结果很好地相关，并且该值的使用在未来可能很重要。

在评估严重丢失块结果时，应该使用的最小组数数量是M<sub>lb</sub>，这些分组应该分布在整个T<sub>s</sub>间隔内。M<sub>lb</sub>的值有待进一步研究。

### 5.5.8.3 重复的IP分组结果

重复的分组传输结果是成功的分组结果的一个子集，它在以下情况下出现，即允许的入口 $MP_0$ 上的单个IP分组参考事件在至少一个允许的出口 $MP_i$ 上导致两个或更多个对应参考事件，且所有输出分组的二进制信息字段均与初始分组相同。重复分组的 $MP_i$ 上的出口参考事件出现在初始分组的至少一个其他对应出口参考事件之后（通常也在 $MP_i$ 上）。

注意：在点对点通信中，只有一个允许的出口 $MP_i$ ，当中目的主机直接连接于NSE。在点对多点通信中，不同目的地可能有许多个允许的出口 $MP_i$ 。

### 5.5.8.4 复制的IP分组结果

当允许的入口 $MP_0$ 上的单个IP分组参考事件在至少一个允许的出口 $MP_i$ 上导致两个或更多个对应参考事件，且所有输出分组的二进制信息字段均与初始分组相同时，复制的分组传输结果出现。复制分组的 $MP_i$ 上的出口参考事件是初始分组的第一个，且出现在复制分组的至少一个其他出口参考事件之前（通常也在 $MP_i$ 上）。

### 5.5.9 流修复的IP分组结果

以下结果基于基本结果，以及基于流修复系统模型的附加分析。附录VII给出了关于该主题的更多背景知识，以及所涉及的损坏缓解技术（在IP层之上）。

#### 5.5.9.1 应用层流修复技术的简单模型

附录VII还定义了一个简单的模型，如下所述。应用层分组的每个流都被建模为包含两类分组：

- 信息分组的间隔或块；
- 与信息块相关的可修复分组的最大数量。

修复技术设计者面临的挑战是选择信息块大小与（最大）修复能力相结合，该修复能力足以补偿高百分比的分组网络损坏（丢失、过度延迟和损毁），同时工作于系统的总体分组传输容量限制内，并在应用流中提供足够的质量。

新的性能参数应该有助于这些决策。

#### 5.5.9.2 受损的分组结果和IP分组受损的间隔结果

当出口 $MP_i$ 上受损分组结果的数量超过 $x$ 时，入口 $MP_0$ 上时间间隔 $T_1$ 期间观察到的一组分组会出现IP分组受损间隔结果。注意：时间间隔 $T_1$ 包括信息和开销或修复分组（如果嵌入在入口流中）。

受损的分组结果是以下结果的总和：

- 丢失的分组结果，使用与 $T_1$ 和标称传输时间相关联的 $T_{max}$ ，可能等于感兴趣群体的最小分组传输延迟加上（多个） $T_1$ 。这将包括需要过多排队的分组，以及那些从未到达的分组；
- 出错的分组结果。

注意：该结果与其他分组丢失/块指标之间一个有区别的因素是异常延迟的分组（超过延迟变化阈值）与从未到达（并且在传输期间真正丢失）的分组组合在一个类别中：受损的分组。



没有为时间间隔 $T_i$ 和阈值 $x$ 设置任何暂时值。相反，分析可能涉及时间间隔 $t_1$ 和阈值 $x$ 的一系列值。还应该指定IP分组负载的长度，因为这影响序列化时间，从而影响分组块占用的时间间隔。

### 5.5.9.3 IP分组受损的块结果

当块中出口 $MP_i$ 上受损分组结果的数量超过 $x$ 时，在入口 $MP_0$ 处观察到，对块大小为 $b$ 的一组分组，出现IP分组受损块结果。没有为块大小 $b$ 和修复阈值 $x$ 设置任何暂时值。

## 6 IP分组传输性能参数

本节使用第5.5节中定义的IP分组传输结果定义了一组IP分组信息传输性能参数。所有的参数都可以根据在MP上的观察结果来估计，该MP限定了测试的基本段或NSE。

注 – 其他IP分组传输性能参数（例如，严重出错的IP分组块率）的定义有待进一步研究。

### 6.1 分组资质

本节定义了用于限定性能参数对分组集适用性的关键术语。

#### 6.1.1 感兴趣群体

大多数性能参数是在称为感兴趣群体的分组集上定义的。对于端到端的情况，感兴趣群体通常是从SRC发送到DST的分组的总集。端到端情况下的测量点是在SRC和DST上的MP。

对一个基本段或NSE，相对于一个特定的SRC和DST对，在一个特定的允许入口MP上的感兴趣群体是从SRC发送到DST的一组分组，它通过该特定的MP被路由到基本段或NSE。这被称为特定的入口情况。

相对于一个特定的SRC和DST对，一个基本段或NSE的总的感兴趣群体是从SRC到DST的总的分组集，它通过其任何允许的入口MP传送到段或NSE中。这被称为入口无关的情况。

这些IP性能参数中的每一个都是在未参考特定分组类型（ToS、DSCP、协议等）的情况下定义的。性能会因分组类型而异，任何关于测量性能的陈述都应该包括关于哪些分组类型包括在群体中的信息。

#### 6.1.2 分组流

分组流是与给定连接或无连接流相关联的一组分组，具有相同的源主机地址（SRC）、目的主机地址（DST）、服务类别和会话标识（例如，来自较高层协议的端口号）。当提到具有这种分类程度的分组流时，其他文档可能使用微流或子流这样的术语。分组流是感兴趣群体的最常见例子。

IPv6分组有一个额外的字段供源主机标记分组序列，这些分组序列在IPv6路由器中应该得到一些特殊的处理。该字段称为流标签，与源地址一起来唯一地定义一个分组流。

## 6.2 IP分组传输延迟

IP分组传输延迟（IPTD）是针对一个基本段或NSE上的所有成功和出错分组结果而定义的。IPTD是出现两个对应IP分组参考事件之间的时间（ $t_2 - t_1$ ），即在时间 $t_1$ 出现的入口事件IPRE<sub>1</sub>和在时间 $t_2$ 的出口事件IPRE<sub>2</sub>，其中，（ $t_2 > t_1$ ）和（ $t_2 - t_1$ ） $\leq T_{max}$ 。如果分组在NSE内被分段，那么 $t_2$ 指的是最终对应出口事件的时间。如图8所示，端到端IP分组传输延迟指的是SRC和DST上MP之间的单向延迟。

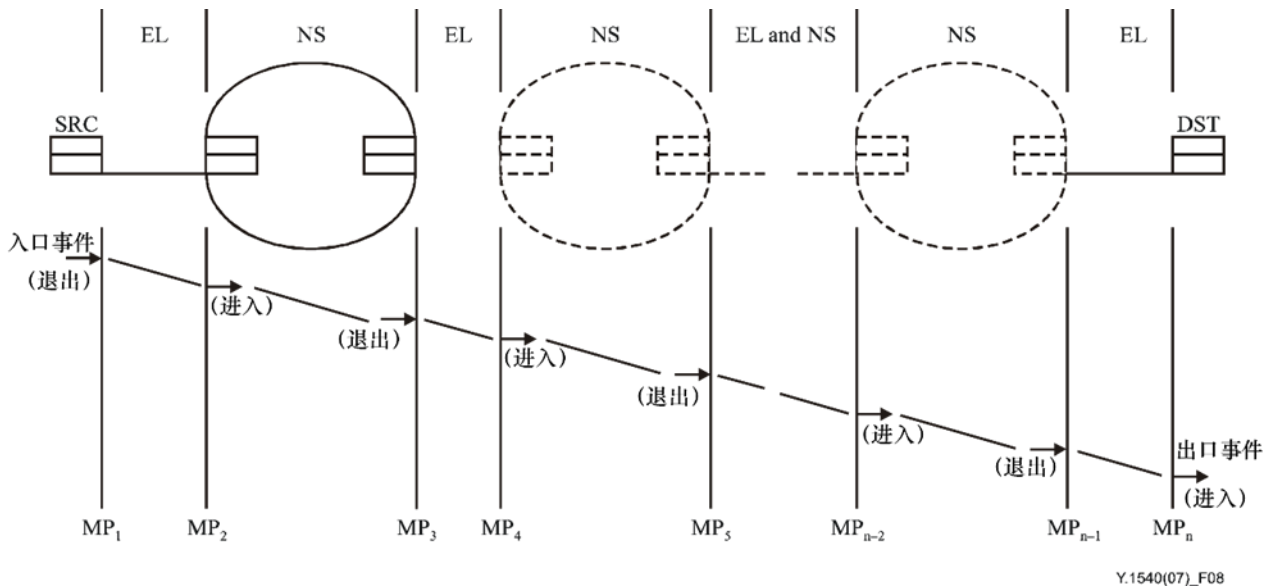


图 8 – IP分组传输延迟事件  
(图示为单个IP分组的端到端传输)

### 6.2.1 平均IP分组传输延迟

平均IP分组传输延迟是有关感兴趣群体的IP分组传输延迟的算术平均值。

### 6.2.2 最小IP分组传输延迟

最小IP分组传输延迟是感兴趣群体的所有IP分组传输延迟中IP分组传输延迟的最小值。这包括所有分组共有的传播延迟和排队延迟。因此，该参数可能不代表MP之间路径的理论最小延迟。

### 6.2.3 中位数IP分组传输延迟

中位数IP分组传输延迟是感兴趣群体的IP分组传输延迟频率分布的50百分位。一旦传输延迟按等级排序，则中位数就是中间值。当群体包含偶数个值时，为了获得这个中间值，使用两个中心值的平均值。

### 6.2.4 端到端双点IP分组延迟变化

IP分组传输延迟的变化也很重要。流应用可使用关于IP延迟变化总范围的信息来避免缓冲区下溢和上溢。IP延迟的极端变化将导致TCP重传计时器阈值增长，还可能导致分组重传被延迟或导致分组被不必要地重传。

端到端双点IP分组延迟变化（PDV）是基于对入口和出口MP（例如，MP<sub>DST</sub>、MP<sub>SRC</sub>）上对应IP分组到达情况的观察来定义的。这些观察结果表征了相对于参考延迟，出口MP上IP分组到达事件之样式和入口MP上对应事件之样式的变化性。

SRC与DST之间IP分组k的双点PDV ( $v_k$ ) 是分组k的绝对IP分组传输延迟 ( $x_k$ ) 与这些相同MP间定义的参考IP分组传输延迟 $d_{1,2}$ 之间的差 (参见图9):  $v_k = x_k - d_{1,2}$ 。

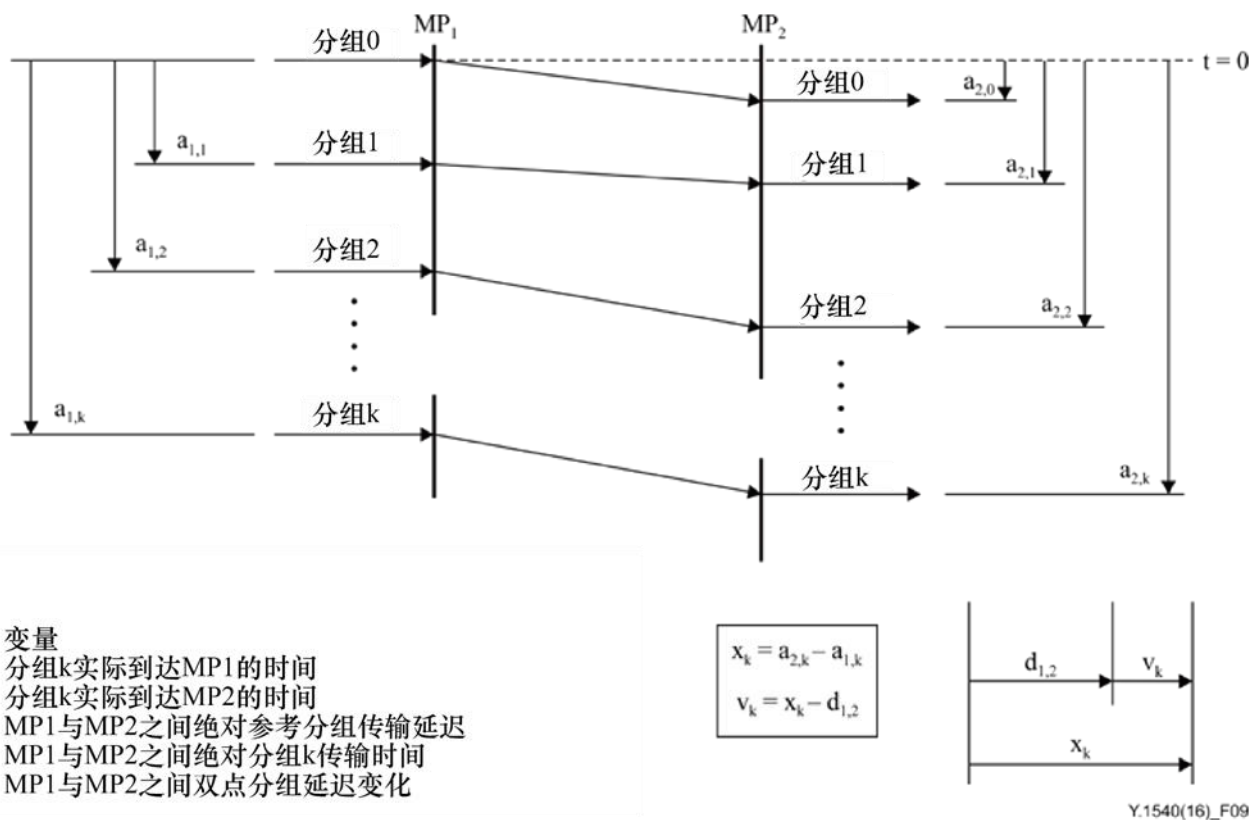


图 9 – 双点IP分组延迟变化

SRC与DST之间的参考IP分组传输延迟 $d_{1,2}$ 是这两个MP之间选定之IP分组所经历的绝对IP分组传输延迟。

双点IP分组延迟变化 (IPDV) 的正值对应比参考IP分组所经历延迟大的IP分组传输延迟; 双点PDV的负值对应比参考IP分组所经历延迟小的IP分组传输延迟。双点PDV的分布与绝对IP分组传输延迟的分布相同, 后者被一个等于 $d_{1,2}$ 的恒定值所取代。

#### 6.2.4.1 使用最小延迟作为延迟变化的基础

如图9所示, 单个分组的延迟变化自然地定义为该分组所经历实际延迟与标称或参考延迟之间的差。优选参考 (在ITU-T Y.1541 IPDV目标中使用) 是感兴趣群体的最小延迟。这确保了所有变化都将被报告为正值, 并简化了变化范围的报告 (变化的最大值等于范围)。IP网络中延迟变化的分布通常表现出指向最小值的偏差 (例如, 最小值和模式相等)。这种延迟变化形式的许多更有用能力 – PDV, 使用最小延迟作为参考 – 在[IETF RFC 5481]中有详细描述。

在本建议书的该版本中, 使用平均延迟作为延迟变化参考进行折余。

在本建议书的早期版本中, 除了使用最小分组延迟作为标称延迟之外, 还有一种备选方法: 使用感兴趣群体的平均延迟作为标称或参考延迟。这具有将延迟变化值的分布集中在零上的效果 (当分布对称时), 并且产生正的和负的变化。然而, 群体的平均延迟可能明显不同于任何单个分组的延迟, 从而为变化创建一个人工参考 (例如, 当存在双峰分布时)。

#### 6.2.4.2 IP分组延迟变化基于分位数的限制

总结感兴趣群体的延迟变化的优选方法（用于ITU-T Y.154目标）旨在选择延迟变化分布的上分位数和下分位数，然后测量这些分位数之间的距离。例如，选择 $1 - 10^{-3}$ 分位数和0分位数（或最小值），进行测量，并观察这两个分位数上延迟变化值之间的差。该示例将帮助应用设计人员确定总的缓冲区溢出不超过0.1%的去抖动缓冲区大小。

IP分组延迟变化的一个目标可以通过选择延迟变化分布预先指定分位数之间的差的上限来建立。例如，“99.9分位数与分组延迟变化最小值之间的差不应超过50 ms。”

#### 6.2.4.3 IP分组延迟变化基于间隔的限制

总结感兴趣群体所经历IP分组延迟变化的另一种方法是预先指定延迟变化时间间隔，例如，50 ms，然后观察落在该时间间隔之内和之外的单个分组延迟变化的百分比。如果使用50 ms的时间间隔，则固定缓冲区大小等于或接近50 ms的应用将知道大约有多少分组会导致缓冲区上溢或下溢。

注 – 如果该方法用于总结IP分组延迟变化，则应使用第6.2.4.1节中的最小延迟作为标称来计算单个分组的延迟变化，而不是使用第一个分组来定义第6.2.4节。使用第6.2.4节的定义，预先选择的时间间隔（例如，50 ms）可能偶尔会锚定在一个非常大或非常小的值上。

IP分组延迟变化的目标可以通过选择落在预先指定时间间隔内的单个分组延迟变化的百分比下限来建立。例如，“≥99.9%的分组延迟变化应该在时间间隔[0 ms, 50 ms]内”。

#### 6.2.4.4 IP分组延迟变化的次要参数

捕获IP分组延迟变化对不同应用之影响的一个或多个参数可能是有用的。将（通常很小的）分组到分组的延迟变化与IP路由变化可能导致的较大的延迟不连续性区分开来，可能是恰当的。附录II给出了延迟变化的几个次要定义及其使用指南。

### 6.3 IP分组错误率（IPER）

IP分组错误率（IPER）是感兴趣群体中总的出错的IP分组结果与总的成功的IP分组传输结果加上出错的IP分组结果之比。

### 6.4 IP分组丢失率（IPLR）

IP分组丢失率（IPLR）是感兴趣群体中总的丢失IP分组结果与总的传输IP分组之比。

注 – 描述单向丢失模式的指标可以在[b-IETF RFC 3357]中找到。某些非弹性实时应用（如语音和视频）对连续分组丢失特别感兴趣。

### 6.5 虚假的IP分组速率

出口MP处的虚假IP分组速率指的是在指定时间间隔内在该出口MP处观察到的虚假IP分组总数除以时间间隔持续时间（相当于每秒钟的虚假IP分组数）<sup>1</sup>。

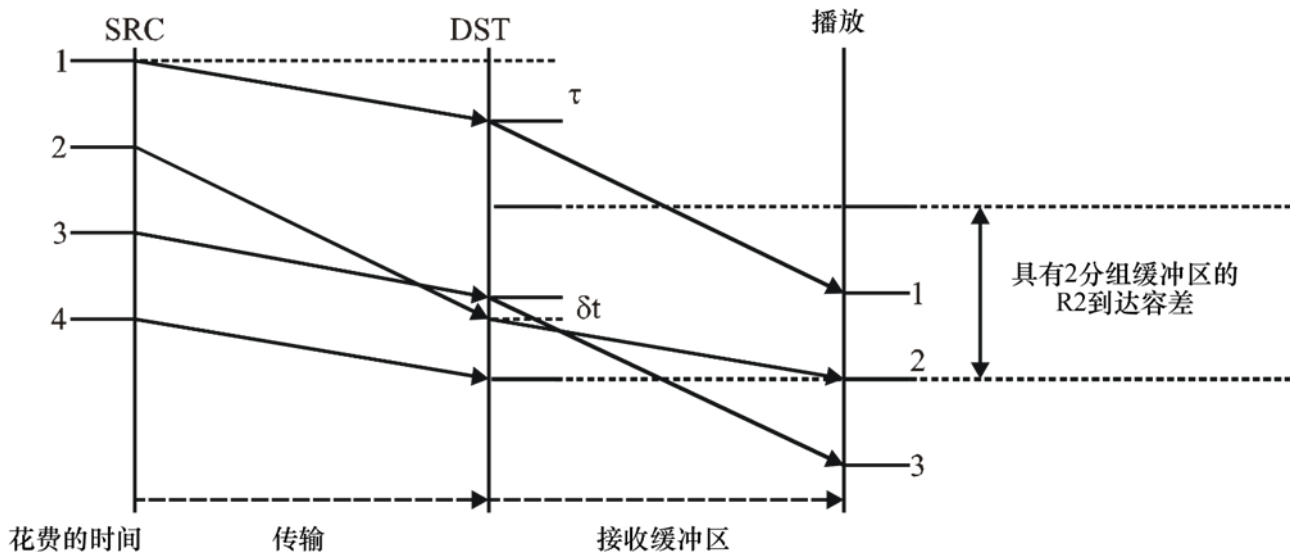
### 6.6 IP分组重新排序率（IPRR）

IP分组重新排序率（IPRR）是目标群体中总的重新排序分组结果与成功的IP分组传输结果总数的比。

图10显示了分组2的无序分组结果，以及假设的到达时间容差，带有一个可恢复顺序的播放缓冲区。

---

<sup>1</sup> 由于导致虚假IP分组的机制预计与通过测试网络段传输的IP分组数量关系不大，因此该性能参数不是以比率来表示，而是以速率来表示。



Y.1540(07)\_F10

图 10 – 重新排序的到达图解

如果可以区分单独的重新排序事件，那么也可以报告事件计数（连同事件标准）。

也有可能断言分组被重新排序的程度。序列号导致下一个期望值递增超过标准增量的任何分组都表明到达次序不连续。从这一点开始，序列号小于下一个期望值的任何（重新排序的）分组都可以用相对于不连续性的距离来量化。该距离可以以位置、时间或居间分组的总字节负载为单位。以图10为例，分组2可以说“迟到”了 $\delta t$ 秒，或者就位置而言是1个分组。

应咨询[IETF RFC 4737]以获得额外的重新排序参数。

## 6.7 IP分组严重丢失块率（IPSLBR）

IP分组严重丢失块率（IPSLBR）是感兴趣群体中IP分组严重丢失块结果与总块的比。

注 – 此参数可以确定因路由更新（也称为路由摆动）而导致的多个IP路径变化，路由摆动会导致大多数用户应用性能的显著退化。

## 6.8 IP分组重复率（IPDR）

IP分组重复率（IPDR）是感兴趣群体中总的重复IP分组结果与总的成功的IP分组传输结果减去重复IP分组结果之比。

## 6.9 复制的IP分组率（RIPR）

复制的IP分组率（RIPR）是感兴趣群体中总的复制的IP分组结果与总的成功的IP分组传输结果减去复制的IP分组结果之比。

## 6.10 流修复参数

理想情况下，我们希望知道给定的分组时间间隔（或信息块 $b$ ）包含 $x$ 个以上受损分组的概率。

$$P(b, x) = p \text{ 或者 } P(T_i, x) = p$$

测量感兴趣群体中出现的受损分组结果应提供可用时间内概率的经验评估。

### 6.10.1 IP分组受损间隔率 (IPIIR)

IP分组受损间隔率是感兴趣群体中IP分组受损间隔结果与总的非重叠间隔之比。

### 6.10.2 IP分组受损块率 (IPIBR)

IP分组受损块率 (IPIBR) 是感兴趣群体中IP分组受损块结果与总的非重叠块之比。

## 6.11 容量参数

端到端IP分组传输服务从源主机到目的主机遍历基本段的有序序列。下面描述的容量参数根据其承载IP流量的能力来定义基本段的属性，以及NSE的对应属性，也称为“路径”。重要的是要注意，一个基本段以及一系列基本段与一个方向相关联。该方向是重要的，因为前向方向上的一系列段的特性不需要与反向方向上的相同。

注意：不同于在第6.12节中定义的流量相关参数，容量相关参数不依赖于IP之上的更高层协议（例如，TCP）。此外，注意：已用容量、利用率和可用容量的参数是不可外部测量的，并且需要可访问链路利用率测量结果等的监测系统的支持。

### 6.11.1 段指标

#### 6.11.1.1 传输的IP层比特

对于给定的感兴趣群体，所传输的IP层比特被定义为在出口测量点上产生成功IP分组传输结果的所有IP分组中八位字节数的8倍，包括从IP报头的第一个八位字节到IP分组负载的最后一个八位字节。

注意：该定义与[IETF RFC 5136]中IP层比特的定义相同。此外，注意：IP层比特的定义与IP版本无关。

#### 6.11.1.2 IP层段容量

对于给定的感兴趣群体，IP层段容量为：

$$C(t, \Delta t) = \frac{n_0(t, \Delta t)}{\Delta t}$$

其中， $n_0$ 是在指定的时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内，经由在出口测量点上产生成功IP分组传输结果的基本段传输的IP层比特的最高（总的）数量。

注意：这是一个概念性定义，而不是一个可以重复测量的指标。除了重复评估的情况之外，“最高数目”比特一词有些不清楚。更有可能的是，这指的是 $[t, t + \Delta t]$ 期间成功传输结果中的总比特数。关于可测量IP层段容量的规范性定义，参见附件A。

#### 6.11.1.3 IP层已用段容量

对于给定的感兴趣群体，IP层已用段容量为：

$$U(t, \Delta t) = \frac{n(t, \Delta t)}{\Delta t}$$

其中， $n$ 是在特定时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内，经由在出口测量点上产生成功IP分组传输结果的基本段传输的IP层比特的实际数量。

#### 6.11.1.4 IP层段利用率

对于给定的感兴趣群体，IP层段利用率 $V(t, \Delta t)$ 被定义为IP层已用段容量 $U(t, \Delta t)$ 与IP层段容量 $C(t, \Delta t)$ 之间的比。即：

$$V(t, \Delta t) = U(t, \Delta t) / C(t, \Delta t)$$

#### 6.11.1.5 IP层可用段容量

对于给定的感兴趣群体，IP层可用段容量 $A(t, \Delta t)$ 指的是在时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内IP层段容量的未使用部分。这可被计算为IP层段容量与IP层已用段容量之间的差。即：

$$A(t, \Delta t) = C(t, \Delta t) - U(t, \Delta t)$$

或者，相当于

$$A(t, \Delta t) = C(t, \Delta t)(1 - V(t, \Delta t))$$

### 6.11.2 NSE指标

#### 6.11.2.1 IP层NSE容量

可将IP层段容量的定义扩展至一个NSE，也称为“路径”。对于给定的感兴趣群体，在指定时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内的IP层NSE容量 $C_{NSE}(t, \Delta t)$ 被定义为沿该NSE的最小IP层段容量。即IP层NSE容量为：

$$C_{NSE}(t, \Delta t) = \min_{i=1..n} C_i(t, \Delta t)$$

其中， $C_i$ 是NSE中段号 $i$  ( $i=1..n$ ) 的IP层段容量。

#### 6.11.2.2 IP层可用NSE容量

可将IP层可用段容量的定义扩展至一个NSE，也称为“路径”。对于给定的感兴趣群体，在指定时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内的IP层可用NSE容量 $A_{NSE}(t, \Delta t)$ 被定义为沿该NSE的最小IP层可用段容量。即：

$$A_{NSE}(t, \Delta t) = \min_{i=1..n} A_i(t, \Delta t)$$

其中， $A_i$ 是NSE中段号 $i$  ( $i=1..n$ ) 的IP层可用段容量。注意：确定IP层可用NSE容量的段号可能不同于确定IP层NSE容量的段号。

#### 6.11.2.3 IP层紧密段容量

对于给定的感兴趣群体，IP层紧密段被定义为NSE中具有最小IP层可用段容量的段。注意：如果有几个段满足这一条件，则IP层紧密段不是唯一定义的。

对于给定的感兴趣群体，NSE的IP层紧密段容量是IP层紧密段的IP层段容量。

注意：IP层紧密段的IP层可用段容量等于IP层可用NSE容量。也就是说，IP层紧密段容量是：

$$C_{TL}(t, \Delta t) = C_i(t, \Delta t) \text{ 结果是 } A_i(t, \Delta t) = A_{NSE}(t, \Delta t)$$

注意：IP层紧密段不一定必须与确定IP层NSE容量的段相同。

### 6.11.3 可变性

每个容量指标P代表一个时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 上的平均值。对于时间间隔 $[T, T + \Delta T]$ 上给定参数P的一组连续观察 $P_1..P_N$ ，其中， $T > t$ ，可用平均值、标准偏差和分位数来描述变化性。

#### 6.11.3.1 平均值

平均值计算如下：

$$a_p(T, \Delta T) = \frac{1}{n} \sum_{i=1..n} P_i(t, \Delta t)$$

#### 6.11.3.2 标准偏差

标准偏差计算如下：

$$s_p(T, \Delta T) = \sqrt{\sum_{i=1..n} (P_i(t, \Delta t) - a_p(T, \Delta T))^2}$$

#### 6.11.3.3 分位数

对于N值的排序列表 $P_1..P_n$ ，第k个百分位数被定义为：

$$P_l : I = \left\lceil N \frac{k}{100} \right\rceil$$

其中， $P_l$ 是第k个百分位数的对应数据值。（符号 $\lceil \cdot \rceil$ 表示：如果 $N \frac{k}{100}$ 不是一个整数，则应该向上舍入到下一个更大的整数，以获得列表索引I。）

最小值（ $k = 0$ ）、中位数（ $k = 50$ ）和最大值（ $k = 100$ ）的分位数特别重要，应予以报告。也可以使用其他分位数，例如， $k = 95$  或  $k = 99$ 。

## 6.12 流量相关的参数

根据流量或吞吐量相关参数来表征性能是有用的，这些参数评估IP网络或段承载大量IP分组的能力。需要注意的是，一个用于表征IP应用吞吐量的参数不等于该应用可用的资源（容量）数量（如第6.11节中所量化的那样，并使用附件A中的方法进行测量）。这是因为在IP上采用闭环流量控制的较高层协议（例如，TCP流量控制）也会影响所经历的IP层吞吐量。

在本建议书的当前版本中，建议所有流量或吞吐量参数应满足以下要求：

- 1) 用于表征提供给IP服务的吞吐量的参数应将IP网络或段成功传输的IP分组数量与传送到该网络或段的IP分组数量相关联。
- 2) 吞吐量相关的参数应适用于端到端IP网络以及跨EL、NS或NSE的IP传输。

一些与流量或吞吐量相关的参数试图表征一个IP网络的吞吐量，即它维持给定IP分组传输速率的能力。建议任何此类参数和测量方法应满足以下附加要求：

- 1) 应对提供给IP网络或段的流量样式做出描述，因为IP网络或端段成功传送这些分组的能力取决于该流量样式。



- 2) 提供流量的速率不应超过连接受测试段和非受测试目的段的链路容量（以比特/秒为单位）。
- 3) 在任何关于吞吐量性能的单独立声明中，都应声明所考虑的IP分组类型（当中，类型包括IP版本、扩展报头的存在、传输层协议、其他协议报头以及任何其他相关的信息，如所用分组的长度）。
- 4) 用于IP层或更高层的某些流量控制形式会导致测量误差。例如，受较高层确认跟踪、窗口大小限制和/或流量控制以减轻拥塞（例如，TCP）影响的IP层吞吐量测量，需要评估和报告相关联的测量误差。在对互联网服务规范和使用流量控制的方法产生的结果进行比较时，测量误差指明可能的未使用IP层容量。

还建议遵循IETF RFC 3148块传输容量（BTC）指标框架中的吞吐量相关参数及其测量导则。

与流量和吞吐量相关的参数在附件A中进行规定。附录IX描述了使用TCP的测量如何不满足本节的要求。

注 – 附录III（速率和吞吐容量相关参数）在2019年版本中被否决。

## 7 IP服务可用性

IP服务可用性适用于端到端IP服务、基本段和NSE。

可用性功能（在第7.1节中定义）用于将IP服务的总计划服务时间分为可用的和不可用的时段。在此分类的基础上，第7.2节定义了IP可用性百分比和IP不可用性百分比。最后，IP服务可用性的双态模型作为在第7.2节中定义相关可用性参数的基础。

注 – 除非IP服务提供商另有说明，否则IP服务的计划服务时间假定为每周7天、每天24小时。

### 7.1 IP服务可用性功能

IP服务可用性功能的基础是关于IPLR性能的阈值。

如果端到端情况下的IPLR小于表1中定义的阈值 $c_1$ ，则IP服务是端到端可用的。

表 1 – IP服务可用性功能

中断标准	阈值
IPLR > $c_1$	$c_1 = 0.20$
<p>注 – <math>c_1</math>的值0.20被视为暂时值，需要进一步研究。<math>c_1</math>的先前暂时值为0.75。也有人建议<math>c_1</math>值为0.9和0.99。然而，在批准本建议书时，不可用的大多数原因似乎源于故障，在这些故障中，丢失率基本上是100%，并且当丢失率大于0.20时，IP网络的许多应用不再运行。当IP网络支持多种服务质量时，为不同的服务考虑不同的<math>c_1</math>值可能是合适的。在这种情况下，对于提供ITU-T Y.1541等级0或等级1的服务，建议<math>c_1</math>值在0.03和0.2之间（基于不同语音编码器的弹性），对于ITU-T Y.1541等级5，建议<math>c_1</math>值为0.75。</p> <p>阈值<math>c_1</math>仅用于确定IP网络资源何时（暂时）不能支持有用的IP分组传输服务。<math>c_1</math>值不应被视为关于IPLR性能的一种声明，也不应被视为适用于任何IP应用的一个IPLR目标。为IPLR设立的性能目标应排除所有服务不可用周期，即当IPLR &gt; <math>c_1</math>时的所有时间间隔。</p>	

相对于特定的SRC和DST对，如果该对的IPLR小于阈值 $c_1$ （在所有的允许的入口MP上测得），则基本段或NSE可用于入口无关的情况。

相对于特定的SRC和DST对，如果该对的IPLR小于阈值 $c_1$ （从特定的允许的入口MP测得），则基本段或NSE可用于特定的入口情况。

注1 – 从操作角度来看，将有可能从特定的入口MP测量和/或监控可用性，然后使用该信息来创建关于入口无关之可用性的推论。

注2 – 端到端IP服务可用性与基本段或NSE的IP服务可用性之间的定量关系有待进一步研究。

如果满足表1给出的中断标准（即，IPLR超过其阈值），则IP服务处于不可用状态（经历中断）。如果不满足中断标准，则IP服务处于可用状态（无中断）。在评估IP服务可用性功能时，应该使用的最小分组数量是 $M_{av}$ （ $M_{av}$ 的值有待进一步研究。当可用性测试使用最终用户生成的流量时，建议使用60个分组的 $M_{av}$ ，在 $T_{av}$ 中以每秒一个分组的速度进行分发）。评估IP服务可用性功能的时间间隔的最小持续时间为 $T_{av}$ 。 $T_{av}$ 暂时定义为一分钟。研究表明，该值符合IP层操作的实际限制。对较低层性能和网络元素故障的监测可能能够在更短的时间内确定即将出现的不可用性，并指导纠正措施。附录VI给出了当前IP服务可用性功能定义的基本原理以及 $T_{av}$ 和 $c_1$ 的值。

注3 – 基于IPLR的中断标准有望令人满意地表征IP服务可用性。然而，IP服务可用性也可能会考虑到IPER的严重性能下降和/或虚假的IP分组速率。纳入其他可用性决策参数及其相关阈值还有待进一步研究。

注4 – 关于可用性的这种单向定义是由这样一个事实来驱动的，即IP分组从SRC穿越到DST的路由通常会与从DST穿越到SRC的路由有很大不同。如果从IP网络用户的角度来看，需要一个双向可用性定义，则通过对反向路径的非重叠不可用时间求和，可以从该单向定义中容易地导出双向定义。

IP服务可用性的这一定义旨在适用于最终用户生成的IP流量（即SRC与DST之间正常的IP分组流）以及测试集和测试方法生成的流量。无论是哪种情况，在报告可用性调查结果时，都应该记录IP流量的来源。此类文件应包括每个流向上所用的具体分组类型。

应该限制专门为测试可用性状态而生成的流量，以免造成拥塞。这种拥塞可能会影响其他流量和/或大大增加超出中断标准的可能性。

关于确定可用性状态的更多信息，参见附录IV。

## 7.2 IP服务可用性参数

### 7.2.1 IP服务不可用性百分比（PIU）

IP服务不可用百分比（PIU）是使用IP服务可用性功能归类为不可用的总计划IP服务时间的百分比（ $T_{av}$ 间隔的百分比）。

### 7.2.2 IP服务可用性百分比（PIA）

IP服务可用性百分比（PIA）是使用IP服务可用性功能归类为可用的总计划IP服务时间的百分比（ $T_{av}$ 间隔的百分比）；PIU和PIA的关系如下：

$$PIU = 100 - PIA$$

注 – 因为IPLR通常随从SRC到DST的所提供负载的增加而增加，所以超过阈值 $c_1$ 的可能性随所提供负载的增加而增加。因此，SRC与DST之间的容量需求越高，PIA值可能越小。

附录IV提供了关于采样的信息，以确定PIA和PIU。

## 附件A

### 基于IP的容量和流量相关的参数以及测量方法

（此附件是本建议书不可分割的组成部分。）

#### A.1 背景

以“互联网服务”为特征的测量架构标准化工作始于2013年。支持网际协议的消费者网络接入产品是连接到互联网的常见方式。传统上，大多数消费者应用使用TCP传输进行通信。TCP提供可靠的数据报传输。当试图通过标准化的测量来表征互联网服务时，表征TCP传输层属性的方法已被用于判断互联网或链路层属性，如接入带宽。有人担心这种方法可能无法正常工作，并提出了基于测量来表征消费者互联网接入服务的替代方法。

与此同时，出现了用UDP传输取代TCP传输、用开放和加密部分取代负载以及应用层重传和拥塞控制的强烈趋势。Google QUIC的使用和IETF QUIC [b-QUIC]的即将获得批准，将迅速改变互联网的传输格局，使用流行浏览器的消费者是/将是最早采用者之一。

在目前的案文中，本附件规定了最大IP层容量接入带宽测量的参数和方法。未来，与流量相关的（传输吞吐量）测量参数和方法可能会在进一步研究后在此做出规定。这些参数和测量方法完全适用于互联网服务用户（最终用户）和互联网服务提供商，但需要注意的是，在将测量与IP层服务规范进行比较时，所选的入口和出口测量点将完全决定适用性。

ITU-T第12研究组（SG12）在制定电信测量和建模标准方面经验丰富。此外，还具备统计方法和工具集方面的专门知识，可以对拟议的测量和建模方法进行客观比较。使用第12研究组的专业知识和方法来决定与“消费者互联网服务”特性相关的竞争提案的适用性，被认为是从交流意见到在可复制测试条件下证明和比较概念的一种好方法。[b-ITU-T P.800]提出了以下要求：

重要的是，要正确规定和设置测试中所模拟的条件，并且在每个实验之前和之后做出精确测量；...并保留每次测试输出的真实记录。

IETF已于2018年3月批准并发布了RFC 8337 “基于模型的块传输容量指标” [IETF RFC 8337]。基于模型的指标（MBM）工作是多年来考虑传输容量测量问题的结果，主要是在IETF IP性能指标（IPPM）工作组中。该规范仔细描述了在使用符合标准的TCP进行测试时的许多可重复性问题和困难（第4节），并主要通过设计一种方法和一组诊断测试来解决这些问题，当中TCP的流量控制被禁用。该方法包括根据传输速率和往返时间（RTT）对目标传输性能做出评估。

在本建议书发布之前，已有工具（如iPerf）在已发布的标准和报告中有限提及基于UDP的IP容量测量。如今，业界将测量标准和合规工具的交付视为交付新指标和方法的理想方式。本附件提供了足够详细的实施规范，将产生统计上等效的结果（如IPPM工作[b-IETF RFC 6576]中所述）。将单独提供一种符合本附件的测量工具。

评估相关测量方法的测试计划包含在本附件中。测试计划使用[b-ITU-T P.800]中的第12研究组原则来建立比较候选测量方法的“基本事实”。测试分为几个阶段：实验室测试根据第1阶段计划来进行，当中，对“地面真实”的实施、测试平台的限制和候选的测量方法，可以在受控条件下进行检查。根据测试计划，在现场进行第2阶段的测试。

附录X（资料性的）提供了评估（使用测试计划）的归总结果，用于第1阶段实验室和第2阶段现场测试。其他附录提供了为支持此处达成之共识而收集的信息，以及关于不同层上测量结果之间计算和转换系数的更多细节。

## A.2 IP层接入容量参数和测量方法（消费者互联网接入）

### A.2.1 可测量的IP容量指标定义

第6.11.1.2节为IP层段容量定义了一个理想化的参数，该参数用于评估在特定的时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内可以传输的“最大（总的）IP层比特数”。该节定义了理想化定义的可测量（更实用）版本。

对于给定的感兴趣群体，时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内的最大IP层段容量为：

$$\text{Maximum}_C(t, \Delta t) = \frac{\max_{[t, \Delta t]}(n_0(dt_n, dt_{n+1}))}{dt}$$

其中：

时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 由 $x$ 个相等的子间隔组成，长度为 $dt$ ；

$n_0$ 是从 $[dt_1, dt_2]$ 或长度为 $dt$ 的其他时间间隔，在指定的时间间隔内，经出口测量点上可产生成功的IP分组传输结果的基本段可传输的IP层报头和负载比特的总数，以及

最大 $C(t, \Delta t)$ 对应于时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内任何子间隔 $[dt_n, dt_{n+1}]$ 中测得的 $n_0$ 的最大值，除以子间隔的持续时间。

注意：在评估可测量的IP容量指标时，须使用UDP传输。

测量方法还需要定义其发送速率，如下所述。

#### A.2.1.1 IP分组发送比特率（IPSBR）

对于给定的感兴趣群体，在入口MP处由发送器生成的IP分组发送比特率（IPSBR）是在指定时间间隔期间在该入口MP处导致IP分组传输参考事件的IP分组报头和负载中传输之八位字节总数的8倍，除以时间间隔持续时间。相当于每个服务秒导致IP分组参考事件的IP分组报头和负载中的位数。

### A.2.2 测量方法

方法（程序）的总体步骤如下：

- 发送器须安排使用定义了关键参数的UDP传输层来发送和接收IP分组流，包括：  
分组的类型，包括报头和负载长度、报头和选项以及网络中特殊处理的任何标记；  
在指定的时间间隔（例如，与HZ参数一致的间隔，比 $dt$ 小得多， $dt$ 是测试期间报告的子间隔）期间，分组的起始/可变发送速率；  
测试前导码或启动阶段的长度、持续时间和特性（对于某些类型的网络而言这至关重要，例如，移动网络）；  
特定的发送规程，包括允许或预期的突发（背对背发送）。

- 在测试期间，发送速率须根据指定的搜索算法进行变化，包括：
  - 指定的搜索目标，包括一个或多个测得的指标及其对应的操作阈值，以及高于和低于这些阈值的容差；
  - 指定的试验持续时间，由搜索算法中的各个步骤组成；
  - 在子间隔 $dt$ 的测量集，支持在每次试验结束时进行的汇总测量；
  - 搜索过程的最长持续时间（时间限值）。

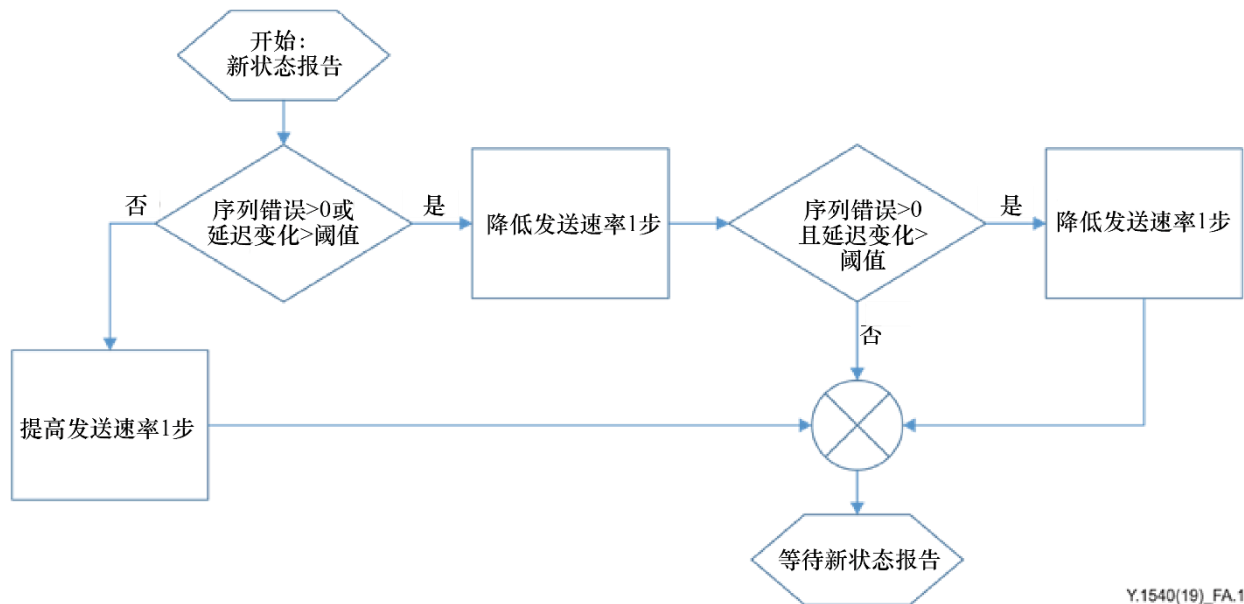
在本附件中须规定一种强制性的搜索算法；其他算法是强制实现的，或者是可选性的（如包含该算法的章节或附件中所规定的那样）。强制性的或可选性的搜索算法的使用结果须报告给用户。
- 须存储整个搜索过程中收集的所有测量结果（试验结果），并将其存储为时间序列，以便对搜索过程进行分析。
- 须对整个搜索过程中收集的所有测量结果（试验结果）进行规定的后处理，以确定特定搜索过程的汇总值。示例包括（对于接收到的速率或此处测得的容量，其他参数包括延迟、丢失和重新排序）：
  - 计算所有试验的所有接收到的速率测量值的平均值；
  - 计算满足搜索目标的所有接收到的速率测量值的平均值；
  - 计算满足搜索目标的所有接收到的速率测量值的最大值；
  - 计算满足指定的结果排除标准的、所有试验的所有接收到的速率测量值的平均值（例如，去除由指定的标准确定的异常值）；
  - 汇总相关参数（参见下面第A.2.3节）。
- 须有明确的标准来使给定搜索过程的结果无效，例如，检测到未能达到要求的发送速率，或者检测到竞争流量（但这种流量不能在所有情况下都完全被检测到）。
- 当重复测试以检查结果的一致性或其他原因时，汇总结果的过程应包括对应测试后分析，以确保数据质量并检测和排除数据假象（如果可能的话）。测试后分析方法须公布使用时的结果。
- 安全性：测试接收器（或服务器）须安排仅接受来自授权用户群体的测试请求，并拒绝其他用户。
- 容量：测试接收器（或服务器）须安排仅在有足够的主机和接口资源可用时接受测试请求，当不满足该条件时拒绝请求。
- 报告结果：测量系统须报告最大IP容量、试验IP分组丢失率和其他可用指标（参见第A.2.4节）。测量系统还可以根据所传送的UDP负载比特来报告UDP容量，因为这是在已经移除了IP和UDP报头之后用户应用可用的容量。

#### A.2.2.1 强制性搜索算法

测量系统满足第A.2.2节的要求，并增加了以下功能来支持搜索算法：

- 1) 测试者应就最大测试分组大小提出建议，并考虑到一些意外的开销，以避免碎片。
- 2) 有一个有关传输速率（IPSBR）、每个时间间隔内发送的分组数量和分组大小的表。对所提供的负载速率，该表有升序值，介于最小与最大支持的负载速率之间（包括最小值和最大值）。

- 3) 所提供负载的接收器须测量以下指标：接收到的速率、丢失、重新排序、延迟变化（根据本建议书）和往返延迟[Y.1565]。
- 4) 所提供负载的接收器须定期向发送器发送状态反馈消息，并附上测得指标的结果。
- 5) 根据状态反馈消息中包含的结果，发送器须根据图A.1中的流程图调整其提供的负载。在流程图中，“一步”是通过在所提供负载速率表中使用一个新值（在发送的当前行之上或之下的行中）来实现的速率的一个变化。



Y.1540(19)\_FA.1

图 A.1 – 作为搜索算法一部分而提供的负载调整的流程图

注 – 算法决策可以由测量系统的两个参与主机之一来执行，这将使在另一个主机上的实现不那么复杂，且独立于算法版本。这也允许在更方便访问的主机上更新算法。

今后，备选的限制性或可选性搜索算法将在单独的附件中予以规定。

### A.2.3 试验性IP分组丢失率（IPLR）度量

对于给定的感兴趣群体，试验IP分组丢失率（IPLR）是每次试验期间总的丢失IP分组结果与总的丢失加上成功的IP分组结果之比（或子间隔， $dt$ ）。

注意：IPLR试验与正文中的IPLR定义略有不同，因为在评估每次试验（或子间隔 $dt$ ）的结果并立即将结果传递给搜索算法时，不可能使用长等待时间（ $T_{max}$ ）来区分成功的分组结果和丢失的分组结果。异常长的延迟或重新排序的分组将在后续试验的测量中、在包括IPDV在内的所有参数中予以考虑。

### A.2.4 相关参数和方法

显然，试验IPLR、IPTD（根据[Y.1565]中的参数，评估为往返传输时间或RT延迟）和IPDV是令人感兴趣的，须与接收到的速率（测得的容量）的汇总结果一起报告。

须提供额外的测量参数：

- 搜索过程的实际持续时间（预计为 $\Delta t$ ）
- 搜索过程中观察到的丢失分组总数
- 重复搜索过程中结果的范围和变化。

### A.3 流量相关的吞吐量参数和测量方法（可靠的传送）

根据本建议书第6.12节，本节有待进一步研究（FFS），将规定流量相关吞吐量的指标和指标方法。注意：本建议书附录X解释了为什么带有闭环流量控制的标准TCP不满足这些要求。本建议书附录XIII中描述了一种候选指标和方法，该候选指标和方法符合第6.12节的要求。

#### A.3.1 参数定义

FFS；参见附录XIII。

#### A.3.2 测量方法

FFS。

#### A.3.2 相关的参数和方法

FFS。

### A.4 确定资质和比较接入测量方法的计划

ITU-T P.800建议书和该系列的其他建议书虽然主要针对的是语音，但提供了如何建立、执行和评估测量活动的一般指南，旨在将基于测量输入的模型与真实条件进行比较。为了理解旨在表征互联网接入类型的测试、工具和结果的能力和限制，类似的过程是有用的，如下所述。

应为实验室测试安排一套不同的传输条件。应首先定义接近实际操作条件的传输条件。使用实验室测量设备进行测试时，条件应稳定且可验证。然后，可以针对一组不同的条件测试每种旨在表征不同类型互联网接入的方法。可以表征测量误差。从每个参数和方法的性能，可以确定测量方法有优点和可靠性较低的操作区域（条件）（并可量化测量误差的来源）。

测试条件如下所示。

#### A.4.1 测量点

[b-IETF RFC 7398]为常用的性能指标定义了参考路径和测量点。其他类似的测量项目也可以使用此处所述的扩展来定位测量点。[b-IETF RFC 7398]的目的是创建一种有效的方法来描述用于进行特定测量的测量点的位置，特别是在测量包括受管理和非受管理（专用网络）子路径时指出来。

注意：由[b-IETF RFC 7398]测量点界定的测量路径决定了用户参数的适用性，例如，所提供的典型数据速率，以及用户参数是否通知参数的选择情况，如[IETF RFC 8337] MBM target\_data\_rate。此外，在考虑插入测试流量的层时，如UDP测试中使用的帧大小等参数，以避免碎片。

#### A.4.2 测试条件

所有配置和所有后台流量行为均应尽可能接近操作互通条件。建议定义一个基线测试，然后改变测试参数。这是第1阶段测试。

##### A.4.2.1 第1阶段实验室测试条件

根据BEREC要求，[b-BEREC]第1阶段测试将使用整形器（以及高达10 Mbps的监管器，[b-Google-Police]），测试者必须了解整形器、监管器、无源观察器、发送器、接收器和测试结束结果计量分组的层。此外，还将实施和测试延迟等网络损害情况。

下图说明了在通用计算平台上提供灵活流量/速率控制的两种不同实用工具。不同的流量控制实用工具可以通过三种方式来应用。

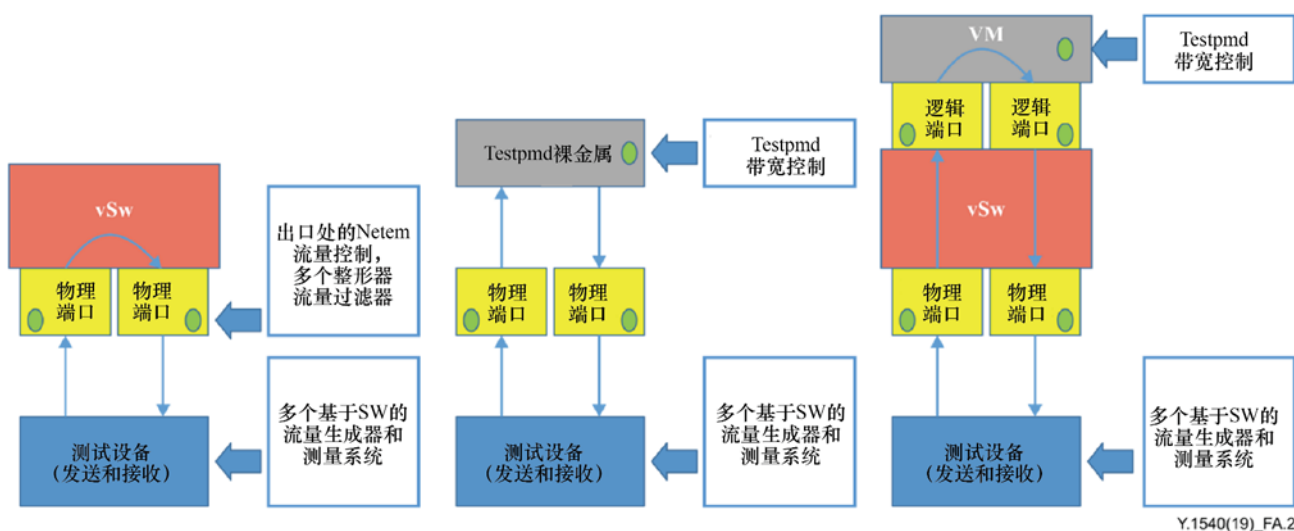


图 A.2 – 在通用计算平台上的三种备选测试路径

在图A.2中，测试设备通过10 Gbps的物理链路连接到一台通用主机。测试设备也是一台通用主机，但它与执行流量控制的主机完全隔离，允许每个节点将资源专用于其在测试环境中的独特角色。可以通过流量控制节点来安装和测试候选测量方法的不同实施方案。

有三种备选方案可以实现流量整形器功能。左边的第一种备选方案采用配备Linux内核的模拟器netem，它可以模拟延迟，并在配置正确的网卡（NIC）和物理接口后协助流量控制。虚拟交换机只需在其两个端口之间交换帧。这种配置通常被称为“phy2phy”。

第二种备选方案（中间）假设将安装和配置Intel DPDK testpmd实用工具，以在正确的物理接口之间执行帧转发，并控制通过转发路径的带宽。

最后一种备选方案（右侧）使用安装在虚拟机（VM）中的testpmd，并采用一个带配置的虚拟交换机来将物理接口连接到虚拟机上的正确端口。同样，testpmd（或运行于虚拟机的其他实用工具）控制逻辑端口之间的路径带宽。

所有这三种配置都可以在OPNFV VSPERF项目吊舱上实现，使用VSPERF工具[b-Pod12]，分配用于测试、开发和评估。

而后不同的条件可能适用于单一测试。在每个测试中，只有一个属性相对于基线测试发生了变化，所有其他配置属性均保持不变。

- 整形器/监管器带宽设置为BEREC建议的速率，最高可达Gbps范围，并将接受测试。
- RTT设置为以下值：5、10、20、40 ms。
- 随机分组丢失率设置为以下值：0、10<sup>-4</sup>、10<sup>-5</sup>。
- 整形器的突发容差可以设置为0或整形器允许的最大值（5 kbit）。
- 限速的方法是整形和监管（但二者不能同时进行）。
- 队列溢出策略是尾部丢弃。
- 测试将在没有后台流量的情况下执行。可以对后台（竞争）流量执行额外的测试。结果和平均背景负载将与结果一起发布。



- 所有测试和后台流量将尽最大努力。
- 单次测量的最大测量时间间隔为30秒。
- 对于每次单独测量，与测试期间测得的带宽相比，配置带宽的容差必须在5%以内，以接受候选测量系统正确测得的带宽。
- 用于测试的测量软件必须在开源许可证下可用。商用产品可推迟这一要求，直至方法开始标准化。必须校准测试系统，Q17应该知道提交评估的任何系统的限值。此外，还必须提供开发环境和所需操作系统的详细信息。
- 结果将作为本建议书的一个附录予以发布。
- ETH帧大小对应第2层64字节的帧大小，此外，最大ETH MTU大小为1512（和包括ETH CRC在内的1516）字节。
- 除了IPv4之外，还需要使用IPv6地址系列进行测试。

依据网络测试条件，在每个测量工具之前，都可以将标准实验室测试设备用于校准网络属性[b-TST 009]，如最大IP层带宽、最小和最大往返时间、缓冲深度等。通过这种方式，可以捕获网络性能基准信息，以此来比较测量工具结果和相关评估结果。

根据配置进行正确整形操作的基准是UDP CBR传输，最终是正确评估信道条件（与[b-PAM-12]一致）。如果UDP容量和整形器配置不同，则正确性的第三个判决器是UDP流的分组捕获。识别和讨论遇到的任何错误在基准测试中都是至关重要的。

校准和测量方法评估的初步实验室测试已经完成。从本建议书附件A的现有案文和BEREC有关验证测量工具的要求中获得指南，AT&T使用将满足要求的一台通用计算平台，对三种备选配置中的一种进行了测试（phy2phy）。

本次测试的要点为：

- 双向吞吐量为213.85 Mbps，相当接近100 Mbps x2的配置值。过量可能是允许的突发大小的假象。
- 带有丢失验证的二进制搜索法配置为允许相当大的容差（单位为Mbps），以接受结果。当测试亚Gbps速率时，应重新考虑该容差。

#### A.4.2.2 第2阶段测试条件

为了推进测试计划，该计划将采用在用网络上的UDP基准（具有经过验证的服务参数规范）来进一步比较服务规范和方法，例如，iPerf 2 TCP方法和基于UDP的方法。这类似于[b-PAM-12]和其他参考文献，如下所述。

在可能和自愿的情况下，也可以在实验室环境中对产品在用网络设备配置进行测试。

第2阶段测试将以类似于Goga和Teixeira在2012年所开展工作的方式进行[b-PAM-12]。从目前广泛使用的测量系统的现有知识来看，没有一个系统使用过去显示的方法来产生IP容量的最准确估计 – 基于UDP的测量[b-PAM-12]。遗憾的是，[b-PAM-12]是在典型接入容量<50 Mbps时进行的，现在（5年多之后），移动互联网接入甚至超过了这个容量范围。要从[b-PAM-12]提取的要点是：

- iperf用于模拟基于洪泛的工具，因为它允许我们设置并行连接数、传输持续时间或大小等参数。
- “基准。表格的第一行。1显示了在UDP中使用iperf洪泛链路时获得的UDP容量.....UDP容量代表每条线路可实现的最大IP速率。”

- Spruce、带有大探针的路径负载和并行TCP是用于估计可用带宽（也称为残留容量）的最准确工具，但在某些区域，并行TCP测试无法产生有用的结果，即如果存在未被识别的并行流量。

对在2012年时间框架内使用的现有测量系统的一般缺点，在[MortonPQS]中进行了分析。

应对每种基本接入类型进行第2阶段测试。

基本接入类型：

- 有线：DSL消费者接入、宽带电缆接入、光纤接入等。
- 无线：WiFi热点、UMTS、LTE无线接入等。

第1阶段中使用的结果和测试路径被定义为第2阶段的基础。第2阶段将涵盖几种类型的互联网接入，例如，具有全国电信市场典型属性的接入。所有其他参数也是如此，例如，应该假设流行内容的典型RTT，背景流量应该是典型的，等等。因此，网络连接条件应该接近真实的用户环境。

而后不同的条件可能适用于单一测试。在每个测试中，只有一个属性相对于基准测试发生了变化，所有其他配置属性保持不变。

- 可以在接入上添加后台流量（根据特定市场的预期，可以有也可以没有Diffserv特征）。

此外，还可以使用标准实验室测试设备来探究所测量网络的属性。

当分组大小已知时，应提供分组大小，但存在潜在的大小变化，这种变化可能是要求重传的网络条件带来的结果（主要针对TCP，其他工具可能使用固定的或可变的大小）。

## 附件B

### 基于IP的容量参数的附加搜索算法 和测量方法

（此附件是本建议书不可分割的组成部分。）

#### B.1 搜索算法

该测量系统符合第A.2.2节的要求，并增加了以下功能，以支持替代的、强制实施的搜索算法，称为附件B搜索算法（与测试协议无关）：

- 1) 测试人员应该就最大测试分组大小提出建议，并考虑到一些意外开销，以避免碎片。
- 2) 传输速率表，即每个时间间隔内发送的分组数量（对应于每秒比特数和指定的协议层）以及分组大小。该表具有所提供负载率的升序值，介于最小与最大所支持负载率之间（包括最小值和最大值）。
- 3) 所提供负载的接收器须测量以下指标：接收速率、损耗、重新排序、延迟变化（根据本建议书）和往返延迟[ITU-T Y.1565]。
- 4) 所提供负载的接收器须定期向发射器发送状态反馈消息，并附上所测指标的结果。
- 5) 根据状态反馈消息中包含的结果，发射器须根据图B.1中的流程图来调整其提供的负载。在流程图中，“一步”是通过使用所提供负载速率表中的新值（发送速率和分组大小的当前行之上或之下的行）实现的速率变化。

图B.1中的流程图使用了许多变量名，在某些情况下，还使用了可配置的阈值来决定流程图的决策。通过流程图有三条主要路径：当反馈指示测得的损伤不存在时，或者当首次测得损伤且可能存在一定拥塞但发送速率改变被延迟时，或者当测得的损伤通过重复测量反馈被确认时。

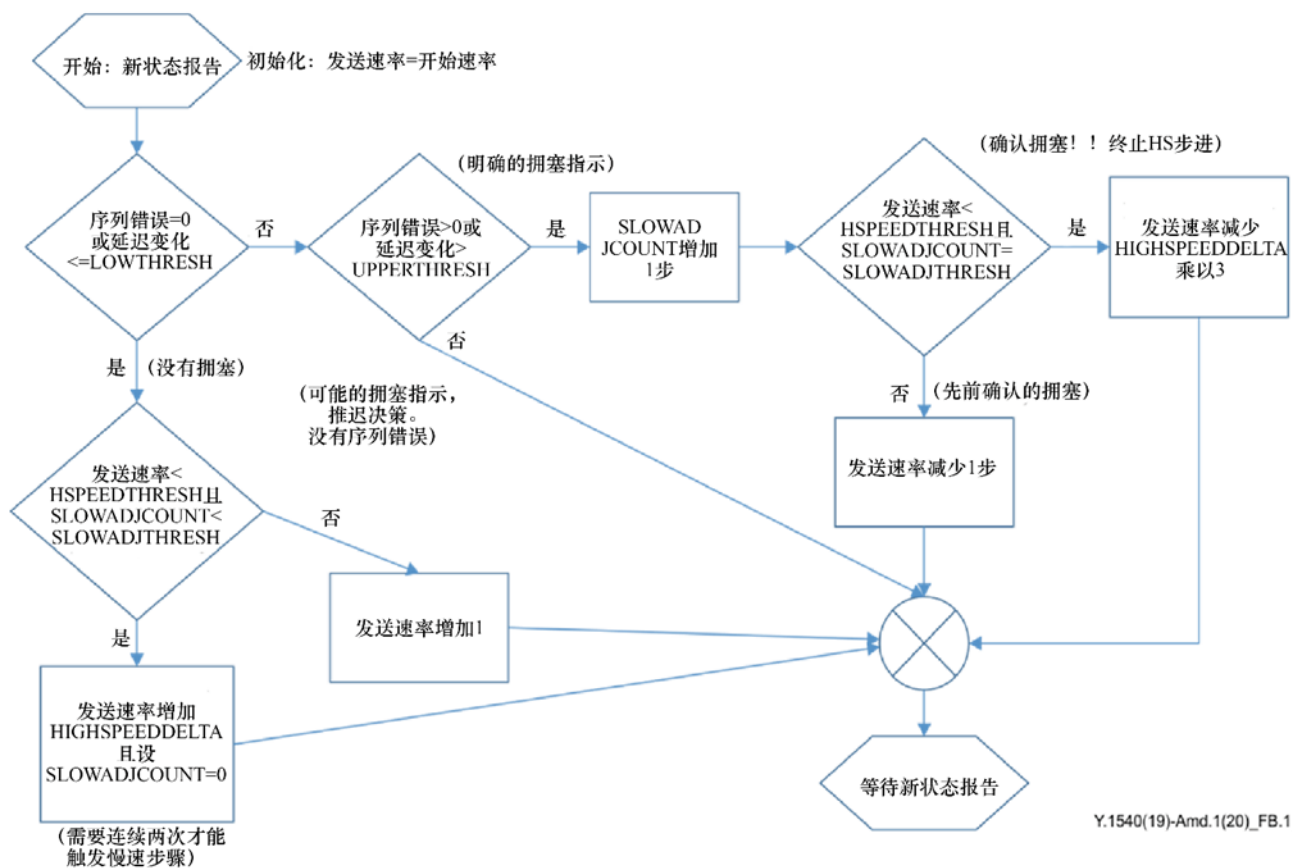


图 B.1 – 提供的负载调整流程图，B型搜索算法

注 – 算法决策可以由测量系统参与主机的一端来执行，这将使在另一台主机上的实现不那么复杂，且独立于算法版本。

表B.1解释了图B.1中使用的变量和阈值。

表B.1 – 流程图变量、描述、范围和缺省值

类别/ 变量名	描述	单位	范围	缺省值
发送速率	当前发送速率（相当于表中的一行），在发送速率表中初始化为最小发送速率	Kbps	$500 \leq \# \leq 10\,000\,000$ (10 Gbps)	参见起始速率
开始发送速率	发送速率初始值	Kbps	NA	500 Kbps
序列错误	测得的任何丢失或重新排序损坏的次数（接收的分组序列号不增加1的事件）	次数	NA	0（无序列错误）
DelayVar	往返时间范围，RTT（或单向分组延迟变化，当DelayVar单向测量是可靠时，高于最小延迟）	ms	NA	NA
LowThresh	往返时间变化范围的低阈值，RTT（范围是高于最小RTT的值）	ms	$5 \leq \text{ms} \leq 250$	缺省为30 ms

表B.1 – 流程图变量、描述、范围和缺省值

类别/ 变量名	描述	单位	范围	缺省值
UpperThresh	往返时间变化范围的高阈值, RTT (范围是高于最小RTT的值)	ms	$5 \leq ms \leq 250$	缺省为90 ms
HighSpeedDelta	初始增加提供的负载 (到快速增加) 时, 单次调整中要移动的行数	行数	$\geq 2$	10个表格行 (当前为10 Mbps)
SlowAdjCount	指示高于UpperThreshold的丢失和/或延迟变化的连续状态报告次数	出现的次数	NA	参见 SlowAdjThresh
SlowAdjThresh	用于推断拥塞的 SlowAdjCount上的阈值。使用大于1的值来避免误解瞬时丢失	出现的次数	$> 1$	2
HSpeedThresh	在低与高发送速率步长之间转换的阈值 (例如, 1 Mbps 和100 Mbps)。如果允许, 可能会导致使用巨型帧。	Gbit/s		1 Gbit/s

表B.2给出了附录A方法的缺省输入系数, 用于附录B。

表B.2 – 测量变量、范围和缺省值

类别/ 变量名	参数	单位	范围	缺省值
最大IP层容量				
	并行连接数	#	$1 \leq \# \leq 10$	1个连接
	测试前序的持续时间	s	$0 \leq s \leq 5$	~2 s
$\Delta t$	使用搜索算法的测试持续时间 (下行链路或上行链路), 这是搜索过程的最大持续时间。	s	$5 \leq s \leq 60$	10 s
$\Delta t$	固定速率测试的持续时间 (下行链路或上行链路)	s	$5 \leq s \leq 60$	10 s
$dt$	中间报告间隔的持续时间	s	$0.1 \leq s \leq 10$	1 s
	超时值	s	$5 \leq s \leq 30$	5 s
	测试分组的类型, 包括报头和负载长度、报头和选项以及用于网络中特殊处理的任何标记	NA	IPv4 或 IPv6 UDP DSCP	无缺省值 UDP 00 = 尽最大努力
	UDP负载的参考大小	KB	最小1k字节, 最大1472字节 (巨	无缺省值, 建议避免碎片的最大值。

表B.2 – 测量变量、范围和缺省值

类别/ 变量名	参数	单位	范围	缺省值
			型帧最大9000字节)	
	状态反馈消息的周期（提供之负载的接收器将消息返回给发送器，并附上测得指标的结果）	s	$0.005 \leq s \leq 0.250$	0.050 s
支持指标	这些指标是在与IP容量相同的流上测得的指标。			
IPLR	Y.1540, RFC 7680			
T <sub>max</sub>	分组到达的最长等待时间	s	$0.05 \leq s \leq 3$	1 s
采样RTT	Y.1545, RFC 2681: RTT使用来自接收器的反馈状态消息。			
T <sub>max</sub>	分组到达的最长等待时间	s	$0.05 \leq s \leq 3$	3 s
	时间戳的解析	ms	$0.001 \leq ms \leq 1$	对固定接入建议： 0.001 （基于当前实施情况）
支持指标： IPDV	Y.1540, RFC 3393, RFC 5481 （PDV）			
T <sub>max</sub>	分组到达的最长等待时间	s	$0.05 \leq s \leq 3$	1 s

表B.2 – 测量变量、范围和缺省值

类别/ 变量名	参数	单位	范围	缺省值
	时间戳的解析	ms	$0.001 \leq ms \leq 1$	对固定接入建议： 0.001 （基于当前实施情况）

并行连接引入了复杂性以及达到更高速率的优势。

可能的好处包括：

- 并行系统可用于产生并行连接所需的聚合速率。

- 并行连接可以作为一种方式，用一对测试主机来使测试路径饱和。
- 出于诊断目的，或者为了验证测试过程，可以获得额外的信息。例如，对每个连接上的数据速率进行比较可以提供有关信息，当中非常不同的数据速率可能揭示异常的操作。

目前的观点是，每个连接都将有自己的反馈信道、测量计算和流程图，以及所有连接的聚合结果报告。

## 附录I

### IP分组路由注意事项

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

本附录描述了与IP服务性能表征相关的IP分组路由注意事项。

IP分组路由通过每个网络运营商的路由协议策略和配置以及协议本身的选择来决定。例如，运营商为穿越其网络中每条链路的“成本”配置一个参数，路由算法根据其对网络拓扑当前状态的了解来计算到达目的地的最低成本路由。显然，分组从源到目的地的路径极大地影响它将经历的传输延迟（来自传输和排队），以及遭受其他损害的风险，例如，丢失、错误、复制和重新排序。

路由协议影响分组传输性能的另一种方式是其自动响应网络拓扑的变化，例如，链路或路由器故障，或者采取维护措施使网络元件停止服务。当网络拓扑因故障而发生变化时，如果可能，恢复过程会恢复其余网络拓扑上受影响的连接。这个过程被称为“重新路由”或“重新收敛”，通常包含以下步骤（每个步骤都需要时间来执行）：

- 1) 故障/事件检测
- 2) 路径计算
- 3) 广告
- 4) 转发表更新。

同样，由运营商配置的计时器选项在很大程度上决定了重新路由过程的持续时间。运营商还可以选择设置执行路由算法之间的等待时间，这可以节省处理资源，但在某些情况下可能会延长对故障的响应时间。

子IP网络技术，例如，SONET环和MPLS-TE快速重新路由，支持从链路或路由器故障中进行亚秒级的恢复。



## 附录II

### IP分组延迟变化的次要术语

(此附录非本建议书不可分割的组成部分。)

#### II.1 引言

本建议书规定了一个主要的/规范性的定义，用于评估一组延迟相对于参考延迟的变化。本附录在以下章节中提供了两个资料性的/次要的定义（基于IETF的分组间延迟变化，以及对单点信元延迟变化的修改）。本附录还提供了关于每个参数在何时最合适的指南，并将观测结果与不同的参数关联起来。不同形式的延迟变化之间的其他比较详见[IETF RFC 5481]。

还有两种用于量化延迟变化的方法：

- 1) 一个基于[b-IETF RFC 3393]的参数，用于确定分组间延迟变化；
- 2) 一个类似于[b-ITU-T I.356]中所述单点信元延迟变化的参数，用于评估单个接口上相对于理想到达时间间隔的分组到达时间间隔。

注意：[b-ITU-T I.356]包括两种不同的变化定义，双点和单点。

[ITU-T Y.1541] PDV的IP性能目标依据的是本建议书中规范性双点分组延迟变化参数。

#### II.2 分组间延迟变化的定义

[b-IETF RFC 3393]对延迟变化的定义如下：

- 可以为分组流中的分组提供一个有关IPDV的定义。
- 为从测量点MP1到测量点MP2的流中选定的—对分组定义了分组流中—对分组的IPDV。
- IPDV是所选分组的单向延迟之间的差。

选择功能明确地确定在每次计算延迟变化指标中使用的分组对。在IPDV计算中只使用成功到达的分组。

定义的第一个选择功能是针对流中的相邻分组。当前分组的单向延迟减去前一分组的单向延迟，以确定当前分组的IPDV。如果该对分组中的任何一个（或两个）丢失，则IPDV是未定义的。

另一个重要的例子是选择功能，它对第6.2.4节中定义的双点PDV参数产生等效的延迟变化评估。该对分组始终包括当前分组和流中单向延迟最小的分组。所有到达分组的双点PDV通过从其单向延迟值中减去最小延迟来计算（参考延迟是最小延迟）。

#### II.3 单点分组延迟变化的定义

单点延迟变化参数的基本概念是实际到达样式与预期（通常是周期性的）到达样式之间的比较。该定义的一些变体包括“跳过时钟”调整（当信元或分组到达较晚/落后于其理想到达时间时），如[b-ITU-T I.356]中所述。下面的定义没有实现跳过时钟功能，因为如果参考样式是任意建立的，则没有明显的偏差。

MP上分组k的单点PDV ( $y_k$ ) 是MP上分组参考到达时间 ( $c_k$ ) 与实际到达时间 ( $a_k$ ) 之差:  $y_k = c_k - a_k$ 。参考到达时间样式 ( $c_k$ ) 定义如下:

$$c_0 = a_0 = 0,$$
$$c_{k+1} = c_k + T$$

其中,  $T$ 是理想的分组间距。

单点PDV的正值 (“早的” 分组到达时间) 对应于分组聚集; 单点PDV的负值 (“晚的” 分组到达时间) 对应于分组流中的间隙。

## II.4 关于应用不同参数的指南

服务测量实际方面的指南如下:

- 当在测量设备中不可能同步时钟 (或暂时不可用) 时:
  - 1) 单点分组延迟变化 (单点PDV) 是单向延迟范围/直方图的一种可能替代, 适用于对具有周期性发送时间的分组流的测量 (一旦参考到达时间被适当设置)。
  - 2) IPPM性能指标 (IPPM) 分组间延迟变化适用于所有流量流类型。
  - 3) 当时钟误差稳定时, 可以计算和使用ITU-T Y.1540双点PDV。
- 当在测量设备中同步时钟可用时:
  - 1) ITU-T Y.1540 PDV单向延迟范围/直方图计算可用于一系列评估任务, 包括评估去抖动缓冲区大小。
  - 2) IPPM分组间延迟变化增加了一个对顺序/短期变化敏感的参数, 并对路由变化有一定的免疫力。

由IETF IPPM工作组 (WG) 定义的分组间指标IPDV类似于实时控制协议 (RTCP) 报告中对到达间抖动测量结果的计算。RTP在[b-IETF RFC 3550]第6.4节中给出了对到达间抖动的计算, 附录中有一个示例实现。虽然方法上有一些差异 (RTCP到达间抖动使用到达顺序, 而不是IPDV发送顺序), 但在许多情况下, 使用IPDV单线态计算的 “平滑抖动” 与抖动的RTCP报告之间应该有一个有利的比较 (如果对许多分组重新进行排序, 那么结果可能不一致)。拥有一个可以与用户端点进行的测量相关联的参数将是很有价值的。在测量间隔期间, 具有相邻分组对的IPDV指标也不大容易受到路由改变的影响, 当中该影响仅在跨越路由变化的测量对中才能被观察到。

单点PDV的一个正面属性是它的简单性。评估单个网络元件内周期性流的能力是非常有利的。

在所有变化参数规范中, 必须明确的一点是分组长度的影响。由于插入时间包含在传输延迟中 (从第一位到最后一位), 具有不同大小的分组具有固有的延迟变化。网络规范和测试应使用单一大小的分组, 以简化对结果的解释 (并且必须记录大小)。

## 附录III

### 速率和吞吐量相关的参数

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

此附录在2019年版本中已被否决。

## 附录IV

### IP服务可用性状态的测试和 IP服务可用性参数的抽样估计

(此附录非本建议书不可分割的组成部分。)

本附录用于进一步研究，描述了用于确定IP服务、基本段或NSE是处于可用状态还是不可用状态的测试。在未来的版本中，它将提供用于抽样估计IP服务可用性参数的方法。

#### IV.1 IP服务可用性状态的最小测试（针对测试方法和测试集）

第7.1节要求至少使用 $M_{av}$ 分组来评估可用性状态。测试方法和测试集应该至少尝试在一个 $T_{av}$ 时间间隔内传播 $M_{av}$ 个分组。对于最终用户生成的流量，可以将连续的 $T_{av}$ 时间间隔串联起来，直到满足至少 $M_{av}$ 入口事件的要求。这有待进一步研究。

下面描述了在单个 $T_{av}$ 时间间隔内决定可用性状态所需的最小工作量。为了确定PIA和PIU，需要重复应用该测试。该IP服务可用性的最低测试适用于测试方法和测试集；第7.1节介绍了对最终用户生成之流量的一些要求。任何其他的IP服务可用性测试，（统计上）表现至少和该测试一样好，认为是一个可接受的IP可用性测试。这种IP可用性测试适用于端到端或特定入口情况下的基本段或NSE。

- 第1步：确定SRC和DST。
- 第2步：在适当的测量点上放置测试集或激活测试脚本。
- 第3步：在预定时间，分布于持续时间 $T_{av}$ 上，开始发送 $M_{av}$  IP分组。
- 第4步：如果丢失的分组结果的数量大于 $c_1 \times M_{av}$ ，则在 $T_{av}$ 时间间隔内，IP服务不可用。
- 第5步：如果根据第4步的结果，IP服务（基本段或NSE）未被声明是不可用的，则它在该 $T_{av}$ 时间间隔内是可用的。

取决于样本的大小 $M_{av}$ ，最小测试提供一个未知的置信水平，因此优选下面的测试。

#### IV.2 IP服务可用性状态的测试（使用序贯概率比测试）

本节描述了一种非参数测试，它不假设丢失的基本分布，而是依赖序贯概率比测试（SPRT）来确定 $c_1$ 丢失阈值是否已超过预定的误差水平。SPRT还允许测试者在特定数量的分组和时间内观察到低得多的丢失率时停止测试。结果也可能是不确定的，在这种情况下，需要进一步的测试。SPRT首先用在[b-Morton]中，用于评估分组丢失率，以及与互联网测试中目标速率的关联。

对于空假设 $H_0$ ，设置丢失（或缺陷）概率等于 $c_1 = p_0 = 0.20$ 。还将替代假设 $H_1$ 的丢失率设置为 $p_1 = 0.05$ 。最后，第I类和第II类误差为 $\alpha = \beta = 0.001$ 。

SPRT公式[b-Montgomery]、[b-Wald]如下：

$$X_A = -h_1 + sn \text{ (接受线)} \quad (1)$$

$$X_R = h_2 + sn \text{ (拒绝线)} \quad (2)$$

其中， $n$ 在所发送的所有分组上都线性增加，且

$$h_1 = \left( \log \frac{1-\alpha}{\beta} \right) k^{-1} \quad (3)$$

$$h_2 = \left( \log \frac{1-\beta}{\alpha} \right) k^{-1} \quad (4)$$

$$k = \log \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)} \quad (5)$$

$$s = \left( \log \frac{(1-p_0)}{(1-p_1)} \right) k^{-1} \quad (6)$$

对于上述空假设和替代假设中定义的 $p_0$ 和 $p_1$ 。

使用上面的公式，计算当观察到 $x$ 个缺陷时，接受 $H_0$ 所需的最小分组数量，例如， $x=0$ （无丢失）。

$$X_A = 0 = -h_1 + sn \quad (7)$$

$$n = \frac{h_1}{s} \quad (8)$$

$c_1 = p_0 = 0.20$ 用作 $H_0$ 水平， $p_0 = 0.05$ 用于替代 $H_1$ 且误差为0.001，发现至少需要41个分组来优选 $H_1$ （0丢失），并观察到这41个分组中的9个损失将导致优选 $H_0$ 。

图IV.1显示了使用上述值安装的[b-CVST]包运行的R工具[b-Rdev]的结果。

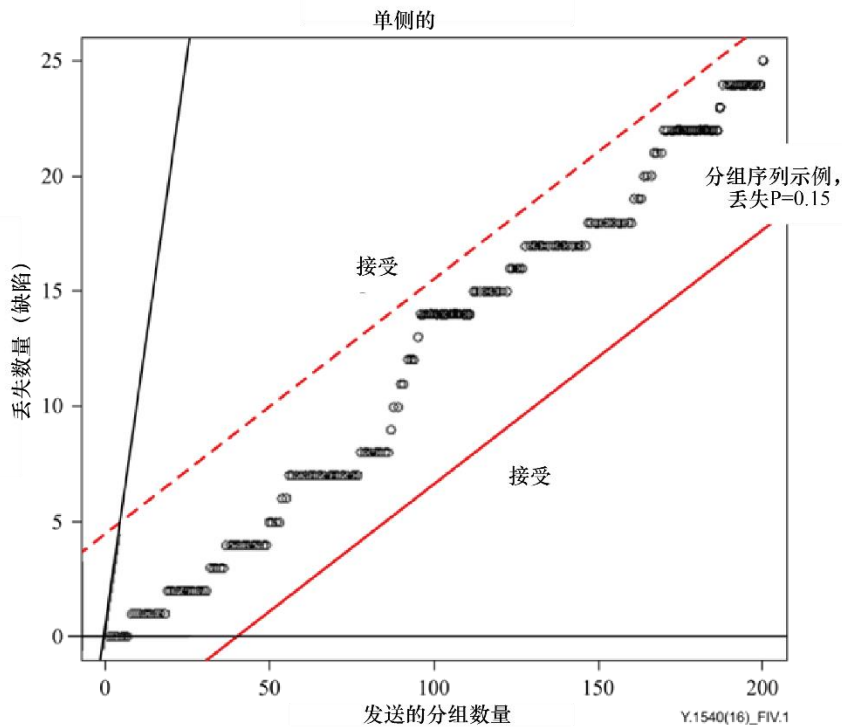


图 IV.1 – 序贯概率比测试示例

图IV.1显示，至少需要41个分组才能优选 $H_1$ （0丢失），并观察到这41个分组中的9个丢失将导致优选 $H_0$ 。

### IV.3 确定IP服务可用性的统计意义的替代测试

如果测量间隔的IPLR小于阈值 $c_1$ ，则[ITU-T Y.1540]确定该测量间隔内可用的IP服务。由于分组要么成功传输，要么丢失，因此可以通过二项式分布来对分组丢失情况进行建模。

空假设 $H_0$ 是IP服务在测量间隔期间可用。如果测量间隔期间的平均分组丢失小于或等于 $c_1$ （如果分组丢失率等于 $c_1$ ，则z测试认为IP服务可用），则 $H_0$ 假设为真。 $H_1$ 的一个假设是，IP服务在测量间隔期间不可用（在测量间隔期间分组丢失 $> c_1$ ）。提出了一个z测试，通过测量来决定是支持 $H_0$ 还是 $H_1$ 。在[b-C298]之后，取置信度95%（意味着显著性水平 $\alpha=0.05$ ）。

该测试由一个样本与阈值 $c_1$ 进行比较组成。阈值均值 $\mu_0 = c_1$ ，其适用于测试的方差为 $\sigma = c_1 * (1 - c_1)$ 。

分组数量为 $n = \text{packetsTransmitted} + \text{packetsDropped}$ 。平均分组丢失率为 $x_{\text{mean}} = \text{packetsDropped} / n$ 。

阈值文本的测试统计信息为 $z_{\text{available}} = \text{sqrt}(n) * (x_{\text{mean}} - \mu_0) / \sigma$ 。

对置信度为95%的z值和单侧测试的 $\alpha=0.05$ ，如果 $z_{\text{available}} > 1.645$ ，则接受 $H_1$ （测量期间IP服务不可用）。

对置信度为99.9%的z值和单侧测试的 $\alpha=0.001$ ，如果 $z_{\text{available}} > 3.09$ ，则接受 $H_1$ （测量期间IP服务不可用）。

#### **IV.4 IP服务可用性的抽样评估**

使用上述最小测试的可用性状态的随机样本可能足以估计PIA和PIU。为了估计连续时间在可用或不可用状态下的持续时间，抽样必须更加频繁。[b-ITU-T X.137]为可能也适用于IP服务的ITU-T X.25/ITU-T X.75网络提供了程序。

## 附录V

### IP性能测量方法相关的资料

(此附录非本建议书不可分割的组成部分。)

本附录供进一步研究，将描述在开发IP性能测量方法时需要考虑的重要问题。它将描述所测试段外部条件对测量性能的影响，包括流量因素。

在IP性能测量期间，应规定并控制以下条件：

- 1) 要测量的精确的段：
  - 端到端测量的SRC和DST；
  - 界定要测量的NSE的MP。

注 – 没有必要为了表征性能而对所有MP对或者所有SRC和DST对之间进行测量。

- 2) 测量时间：
  - 样本收集了多长时间；
  - 测量发生的时间。
- 3) 精确的流量特性：
  - SRC正在提供流量的速率；
  - SRC流量样式；
  - SRC和DST上的竞争流量；
  - IP分组大小。
- 4) 测量类型：
  - 在用或停用；
  - 有源或无源。
- 5) 测得数据汇总：
  - 中间值、最坏情况、经验分位数；
  - 汇总时间：
    - 短时间（例如，1小时）；
    - 长时间（例如，1天、1周、1月）。



## 附录VI

### 关于IP服务可用性的背景

(此附录非本建议书不可分割的组成部分。)

#### VI.1 引言

本附录给出了第7节中当前IP服务可用性功能定义的基本原理。目的是提供额外的背景信息，并帮助理解这个复杂而重要的主题。

#### VI.2 背景

有许多方法可以用来定义可用性，许多观点可以转化为使用一系列敏感性和时间尺度的评估。本建议书使用简单、适当的定义（从网络运营商的角度）来规定最低评估条件。为了理解为什么IP服务可用性功能是足够的，需要了解不可用性的原因。

图VI.1显示了一个Venn图，当中的域都是服务时间。本建议书的正文指出，IP服务提供商可确定服务可用性无法保证的维护间隔。因此，服务时间域通常不同于所有时间的域。

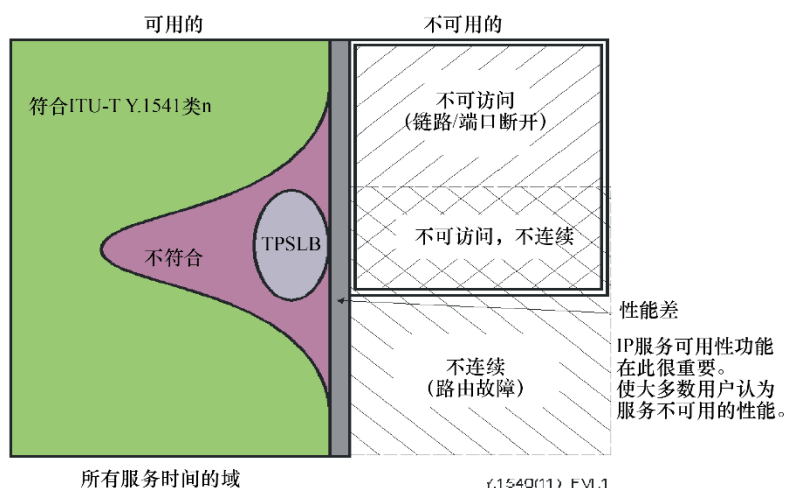


图 VI.1 – Venn图形式的服务时间示意图

我们指出服务时间分为两大类：可用的时间（左边）和不可用的时间（右边）。注意：相对大小不是按比例的，因为可用时间通常比不可用时间大得多。

#### VI.3 图VI.1中各区域的定义

不可用的时间由以下区域组成：

- **不可访问：**由于接入网络传输或网络元素出现故障，服务用户无法与IP网络进行通信。接入链路本身或路由器接口故障是常见原因。分组丢失率通常为100%，对这种故障通常需要1分钟以上的时间才能纠正。故障管理系统应该几乎立即向维护人员发出故障警报。
- **不连续：**由于IP网络全局路由信息出现故障，服务用户无法与期望的目的地进行通信。用户可能能够与一些目的地进行通信，但不是期望的目的地。分组丢失率通常为100%，对这种故障通常需要1分钟以上的时间才能纠正。
- **不可访问、不连续：**当上述两种情况同时存在时，服务用户无法进行通信。

- **性能差：**服务用户无法与期望的目的地可靠地进行通信。分组丢失率为20%或更高，用户将认为该服务不可用于与几乎任何形式的IP网络应用的通信。当拥塞是这种水平的分组丢失的主要原因时，应该激活端到端流量控制来缓解它（如TCP中所规定的那样）。

可用的时间由以下区域组成：

- **符合[ITU-T Y.1541]类别n：**服务用户能够与期望的目的地进行通信，且分组传输性能符合约定类别的目标。对这种状态的评估通常以1分钟为间隔进行。注意：任何用户应用都有特定的容量需求；还必须考虑支持流量合同的能力（如[b-ITU-T Y.1221]中所定义的那样）。
- **不符合：**服务用户能够与期望的目的地进行通信，但分组传输性能不符合约定类别的一个或多个目标。对这种状态的评估通常以1分钟为间隔进行。
- **IP分组严重丢失块（IPSLB）：**服务用户能够与期望的目的地进行通信，但分组传输性能不符合约定类别的一个或多个目标。具体而言，丢失率足以确定已经出现IPSLB（暂时定义为在10秒间隔内丢失超过20%）。

#### VI.4 总结

据观察，IP服务可用性功能的标准仅在性能差的区域中是重要的，并且与不可用的其他原因相比，该区域贡献的不可用的时间很小。因此，认为仅基于丢失的状态评估以及暂时同意的状态评估标准（1分钟，20%丢失）已足够。

## 附录VII

### 用于估计和优化流修复技术的分组性能参数

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

#### VII.1 引言

IP层性能参数有许多用途，网络监控和故障识别是其中一类用途。这些参数也用作服务水平协议（SLA）的基础。上述两种用途都将分组传输描述为提供UNI-UNI传输的网络的一个特征。

还有第二种观点：IP层的性能参数也可以用与应用设计者相关的术语来表征网络。尽管网络监控中使用的许多参数对应用设计者而言是有用的，但每个用例可能都有唯一的参数。图VII.1显示了IP性能参数的两种不同视角或用例。

ITU-T Y.1540建议书定义了基于IP的网络的性能和可用性参数。它定义了主要的和次要的分组传输结果，以及基于这些结果的一系列分组性能参数，包括IP服务可用性功能。

该版本的ITU-T Y.1540建议书建立在基本定义和概念的基础上，以标准化一组新的规范化流修复性能参数。新参数的目标是提供与较高层（应用层）技术设计和配置相关的信息，以补偿因各种原因（包括错误和延迟变化）而造成的分组丢失。因此，如果这些用于分组性能评估的新指标满足其目标，则应简化应用流修复技术的设计和/或优化以及性能估计。

本附录以应用层流修复技术的简短背景开始。然后，它继续提供一个非常简单的模型，旨在适用于诸多不同的修复技术。

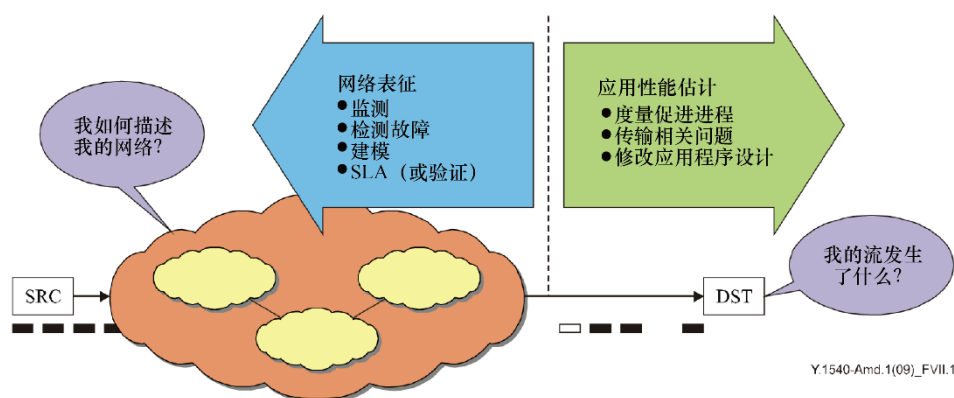


图 VII.1 – IP性能参数的两种不同用例

通常的程序是引入新的指标作为资料性附录，以便潜在的用户有机会在将它们作为规范性参数纳入建议书正文之前对其进行评估。这些新的指标遵循资料性的第一路径，以纳入ITU-T Y.1540建议书。在其研究中，ITU-T审议了许多文献，详细说明了流修复性能参数的经验，这些参数是将它们提升到规范性状态的基础。

## VII.2 应用层流修复技术的简短描述

有三种主要的应用层技术来补偿分组传输损伤。我们专注于非弹性的连续的实时或近实时应用（音频、视频） – 信息传送必须按照预定的时间表进行，而不是通常由TCP及其可靠的八位字节流传输服务来提供服务的弹性数据传输应用类别。

**前向纠错（FEC）：**这是一种在传输之前将分组流组织成块的技术。在每个块上执行计算，并将开销分组添加到流中，如果分组在传输中丢失、或成功但延迟、或损坏，则接收器可以使用这些开销分组来再现块中的一些分组。典型的开销占信息块的5%到20%。在理想的FEC方案中，可以纠正的丢失分组的数量等于开销分组的数量。该方案的主要方面是：

- 信息块的大小，以分组和时间为单位；
- 相对于信息块的开销分组的数量，它近似代表方案的校正能力。

**自动重复请求（ARQ）：**在这种技术中，有一个反向通信信道可用，在该信道中，接收器在检测到特定的单个分组丢失、延迟或损坏后，可以请求重传（这被称为选择性ARQ）。当信息被传送到较高层进行解码和播放时，丢失的分组将被及时重新发送，以便它们取而代之。TCP有时会被修改，以服务于ARQ角色中的非弹性流。有一个等待时间来确定分组是简单地被延迟还是丢失，这类似于FEC方案中使用的信息块。对于在任何时间间隔内可以伴随主流的重传分组，也可能有限制，这与FEC方案的开销平行。ARQ技术可以在一个块中重传多个丢失的分组，等于它对重传开销的限制。注意：重传的分组将代表后续信息分组块上的开销，但该概念仍然适用。

因此，ARQ和FEC技术都可以用相同的、有关信息块大小和最大可修复大小的基本变量来描述。

**应用层错误隐藏：**这是一种解码器尝试使用各种特定于应用的技术来补偿丢失或损坏的信息的技术，当中的一些技术已经实现标准化。简单模型（如下所示）对这类技术的适用性有待进一步研究。

## VII.3 应用层流修复技术的简单模型

应用层分组的每个流都被建模为包含两类分组：

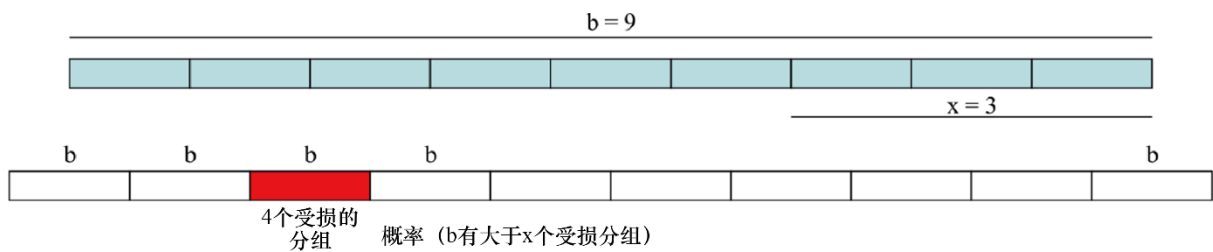
- 1) 信息分组的时间间隔 $T_I$ 或块 $b$ ；
- 2) 与信息块相关的开销分组或最大可修复分组 $x$ 。

修复技术设计者面临的挑战是选择信息块大小，并结合足以补偿高百分比分组网络损伤（丢失、过度延迟和损坏）的（最大）开销分组量，同时在系统总的分组传输容量限制内工作，并在应用流中提供足够的质量。

新的性能参数（在第6.10节中描述）应该有助于这些决策。

## VII.4 表征流修复变化的性能参数示例

下面的图VII.2给出了一个流修复参数计算的例子，其中， $b = 9$ 个分组， $x = 3$ 个分组。



Y.1540(16)\_FVII.2

图 VII.2 – 流修复性能参数示意图

### VII.5 参数测量和使用的讨论

当试图估计具有未知块对齐的修复系统的性能时，时间间隔 $T_1$ 或块 $b$ 可能重叠，以允许评估不同的间隔与损伤对齐（滑动间隔分析）。使用单个固定的、非重叠的间隔进行性能估计和分析存在一个问题，即实际的信息块+开销可能会因对齐方式的不同而导致性能下降。

有两种表征分组流的方法，可用来确定流修复变量的最佳组合：

- 1) 使用（多个）任意建立的分组间隔（就时间或分组数量而言），如上所述；
- 2) 计算连续受损分组的间隔和未受损分组传输的间隔。

计算连续时间间隔的方法似乎具有灵活性，这是基于固定时间间隔的评估所不具备的；它可以确定流中受损/未受损间隔的实际大小，并且不受间隔对齐问题的影响。然而，描述受损/未受损间隔长度的汇总参数与它们出现的实际顺序无关。受损间隔与未受损间隔之间的这种变化顺序可能很重要。此外，连续间隔计数方法需要某种方式来评估是否超过了 $x$ 阈值，因为这对于受损结果的定义至关重要。如果要计算多个 $x$ 值，则可能需要多次遍历存储的数据。

无论哪种情况，结果都可以表示为因变量和自变量的概率或累积分布，如下例所示（图 VII.3）。

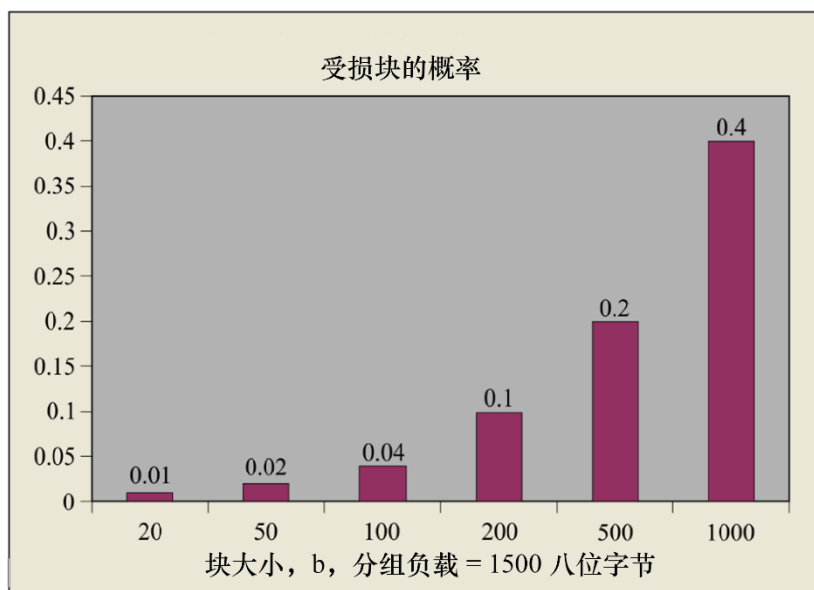


图 VII.3 – 一系列块大小的流修复参数结果示例，其中， $x$ 是固定的、分组大小是固定的

## VII.6 其他注意事项

虽然使用上面定义的参数的网络表征可能是有用的，但应知道应用修复系统的细节，以开始预测交付给用户的质量。当超出其执行完全丢失纠正的能力时，FEC和ARQ技术将产生不同的分组丢失样式。与每种技术相关联的典型块大小是不同的，ARQ通常以更大的块大小为特征。

FEC方案以不同的方式（有时称为一维或二维形式）来组织信息块和开销分组，当中不太复杂的方案在准确的丢失样式与其纠正丢失的能力之间具有更高的灵敏度。设计者应该知道并考虑到简单FEC方案与由上述参数预测的理想执行方案之间的性能余量。

一些应用可以使用上述各种技术的链。例如，一个系统可以结合应用层错误隐藏来使用FEC或ARQ。在另一个例子中，可以在路径的一部分中使用FEC，在路径的另一部分中使用ARQ或不同的FEC，最后采用应用层错误隐藏。

最后，上面定义的短期性能参数可能有助于识别网络问题的特征，从而有助于故障排除，但对此需要做进一步研究。

## 附录VIII

### IP层容量框架

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

#### VIII.1 引言

本附录提供了与第6.11节中定义的容量指标相关的更多信息。

对于网络运营商和应用用户来说，了解在IP网络（拥塞或不拥塞）上有多少实时可用的IP层容量是有价值的信息。本参数可用于网络优化、网络监测、故障排除、服务器或网关选择、负载平衡、准入控制、拥塞控制或者验证跨网络提供商的有保证或业务级服务产品的服务水平协议（SLA）。

规范性附件A中定义的参数和测量方法取代了本附录中先前列出的学术项目和示例工具清单，并论述了下面列出的几个项目，以供进一步研究。

#### VIII.2 术语以及与IETF RFC 5136的关系

术语“可用的容量”和“可用的带宽”在文献中可互换使用。[IETF RFC 5136]提供了关于术语的讨论，主要是用“容量”一词还是“带宽”一词来描述IP特性。[IETF RFC 5136]建议使用“容量”这一术语，为了与IETF保持一致，ITU-T Y.1540建议书中也使用了“容量”这一术语。

[IETF RFC 5136]定义了类似于第6.11节中定义的容量相关参数。然而，ITU-T与IETF定义之间的一个主要区别是，ITU-T Y.1540建议书考虑到了网络主机可能会影响IP层容量参数值。这不在[IETF RFC 5136]的讨论范围内，但已经在IETF中进行了讨论。ITU-T Y.1540参数是在基本段上定义的，这些基本段内在地考虑到了该段中链路和主机的容量。

表VIII.1提供了构成第6.11节中定义和[IETF RFC 5136]中定义的参数之间的映射。

表 VIII.1 – ITU-T Y.1540与IETF RFC 5136之间的参数映射

ITU-T Y.1540第6.11节	IETF RFC 5136
IP层传输的位	IP层位
IP层段容量	IP类型P链路容量
IP层已用段容量	IP类型P链路使用
IP层段利用率	IP类型P链路利用率
IP层可用段容量	IP类型P可用的链路容量
IP层NSE容量	IP类型P路径容量
IP层可用NSE容量	IP类型P可用的路径容量
IP层紧密段容量	未定义

### VIII.3 有待进一步研究的项目

本建议书中容量参数的定义没有明确说明多点路径；然而，这被确定为有待进一步研究的项目。

讨论并确定满足运营商在测量精度、速度和开销方面要求的测量方法。

有没有办法引入一个用于识别IP层紧密链路的系统？

对于未来的测量方法，监管功能会导致分组丢失，这种形式的限制可能需要不同于依赖分组分散的评估方法。



## 附录IX

### 关于基于TCP的测量无法充分满足规范性要求的解释

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

#### IX.1 引言

本建议书的读者可能会发现，在考虑测量方法、尤其是那些基于TCP协议可用之实施方案的方法时，理解第6.12节中规范性要求的含义是有用的。虽然基于TCP的测量被认为对有关用户体验的资料性调查有用，但它们并不构成标准指标、测量方法或数字目标的基础。TCP协议与本附录第6.12节要求的比较阐明了其作为测量方法的地位。

#### IX.2 与规范性要求的比较

第6.12节中的要求分为两个编号清单。第一个要求清单针对所有参数，第二个要求清单针对用于评估保持给定IP分组传输速率所需之能力的参数。

对于第一个要求清单（所有参数）：

- 1) 关于将分组传送到网络和成功传输所需的说明：某些版本的TCP可能会在连接期间（通过管理接口）提供重传之片段的计数，但重传是基于自适应重传超时（RTO），而不是基于分组是否实际丢失，或者在超时到期后是否得到确认，或者成功传送后是否丢失了ACK。TCP接收器不区分初始的或重传的（或两者都有）分组是否成功到达。此外，不同的TCP拥塞控制算法在实现对其他流和吞吐量的公平性的方法上有所不同，当使用激进的算法时，会导致较大数量的分组丢失，或者当分组丢失被错误地解释为拥塞信号时，会导致不必要的较低发送速率（注意在TCP流控制中被解释为拥塞的分组丢失的固定映射）。
- 2) 关于测量部分路径所需的能力：TCP的拥塞控制对往返时间（RTT）高度敏感，表现为非线性，有时会出现意外。因此，在部分路径（EL或NS）上基于TCP的测量通常不会预测完整路径的性能，TCP对RTT的依赖是一个关键原因。

对于用于评估保持分组速率的要求列表：

- 1) 关于提供给网络的流量样式的必要描述：TCP慢启动和拥塞避免阶段决定了发送样式，这些样式根据路径上的条件、特别是交叉流量的存在和遇到的任何瓶颈的特性而有很大的不同。因此，该样式很难或不可能用TCP的流量控制操作来约束或预测。
- 2) 关于将流量速率限制于小于连接链路容量的要求：假设条件可能发生变化，那么TCP的流量控制将继续测试可用的容量。使用可用的参数将TCP发送器限制于某个精确的容量是不切实际的，部分原因是在TCP连接的生命周期中RTT的变化。换句话说，TCP总是可以以超过连接链路的速率发送流量。

操作多个同时TCP连接，每个连接在同一路径上独立评估其连接，进一步加剧了由TCP流控制引起的所有困难。

总之，传输协议是在用户主机中确定和实现的，并且不在基于IP的分组传输服务提供商的权限范围内。服务提供商性能的标准评估应避免由他人选择之层的影响，并且必须满足第6.12节的规范性要求。

## 附录X

### 实验室（第1阶段）和现场（第2阶段）结果概述： 附件A评估计划

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

#### X.1 引言

在其2018年4月举行的中期会议上以及随后在2018年5月举行的第12研究组（SG12）全体会议期间召开的特别会议上，第17/12号课题就一项计划达成共识，以便为IP容量评估（以及分组延迟和丢失、其他关键性能指标）制定指标（也称为参数）和测量方法。这项工作始于为一些现有指标和方法的实验室评估制定一项计划。新的附件A记录了在稳定且可重复的实验室环境中鉴定和比较访问测量指标、方法、模型和工具的计划。该项工作通过第6.11节中的当前参数和第6.12节中的要求来提供指导。

随着工作的进行，很显然需要并行推进，以在多个SDO间协调标准化的IP性能，从而实现广泛和迅速的行业应用。这些努力包括提议在TC ETSI STQ中开展新工作，以及呼吁在IETF IP性能测量工作组（有2名志愿者）中开展合作。其他SDO（ITU-T SG 11、ETSI TC INT和BBF）都已收到用于描述当前进展情况的多封联络函。

2018年秋季的会议产生了将评估计划分为两个阶段的决定，并收集了有关第1阶段的第一次测试结果。第1阶段测试计划参考了[b-BEREC]提供的、有关互联网接入测量系统的BEREC评估，当中的第127项要求描述了在高至500 Mbps的多种速度下使用“流量整形软件或硬件”对速度精度的强制性测试。没有其他细节，省略了有关延迟的关键因素。新的附件A论述了BEREC计划的这一点和其他省略。第2阶段评估将调查关于接入网的第1阶段结论。

第17/12号课题的文稿还纳入了两项关于互联网接入性能测量的学术研究调查报告。最近的调查结果以及2018年11月第12研究组讲习班上的观点都已公布，本文稿末尾总结了几个关键点，当中最相关的点是基于UDP的测试被视为有关容量的基准。

本文稿总结了截至2019年1月的、来自SG12-C275、TD627和TD701 R2的测试和结果。一篇配套的文稿跟进第17研究组中期会议（2019年1月，虚拟会议）上所做的讨论和问题，并为多种指标、工具和测量方法提供了新的实验室结果。

#### X.2 第1阶段实验室测试设置

本节描述了两种主要的替代方案，以创建一个受控的和隔离的测试环境，作为测试方法之间可重复比较的基础。

下图显示了在通用计算平台上提供灵活流量/速率控制的两种不同实用工具。可以以三种方式来运用不同的流量控制实用工具。

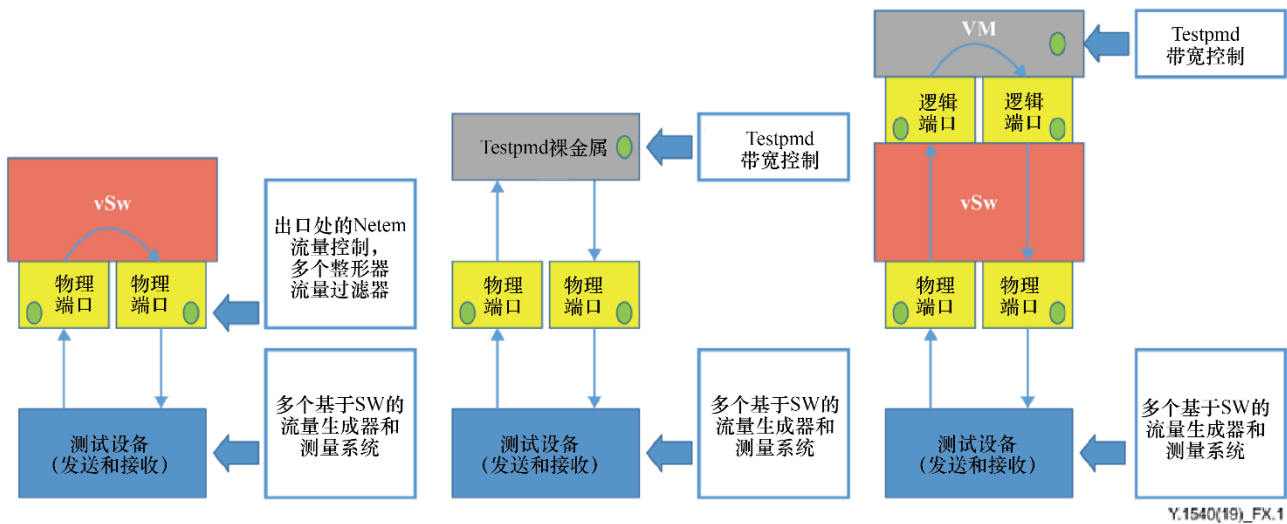


图 X.1 – 在通用计算平台上的三种可能测试路径

在图X.1中，测试设备通过10 Gbps的物理链路来连接到一台通用主机。测试设备也是一台通用主机，但它与执行流量控制的主机完全隔离，允许每个节点将资源专用于其在测试环境中的独特角色。可以通过流量控制节点来安装和测试候选测量方法的不同实施方案。

有三种替代方法来实现流量整形功能。左边的第一个采用了配备Linux内核的模拟器netem，它可以模拟延迟，并在配置正确的网卡（NIC）和物理接口后协助流量控制。虚拟交换机简单地在其两个端口之间交换帧。这种配置通常被称为“phy2phy”。

phy2phy配置用于下述测试和结果。对其余配置（使用Intel DPDK testpmd）的描述，参见附件A。

### X.3 详细的测试设置

下图显示了“phy2phy”测试设置的详细信息，包括两个主机节点、测量系统、具有10 Gbps链路的网络接口，以及包括网络命名空间和开放式虚拟交换机（OVS）的配置。主机位于Intel托管的OPNFV实验室中[b-Pod12]。

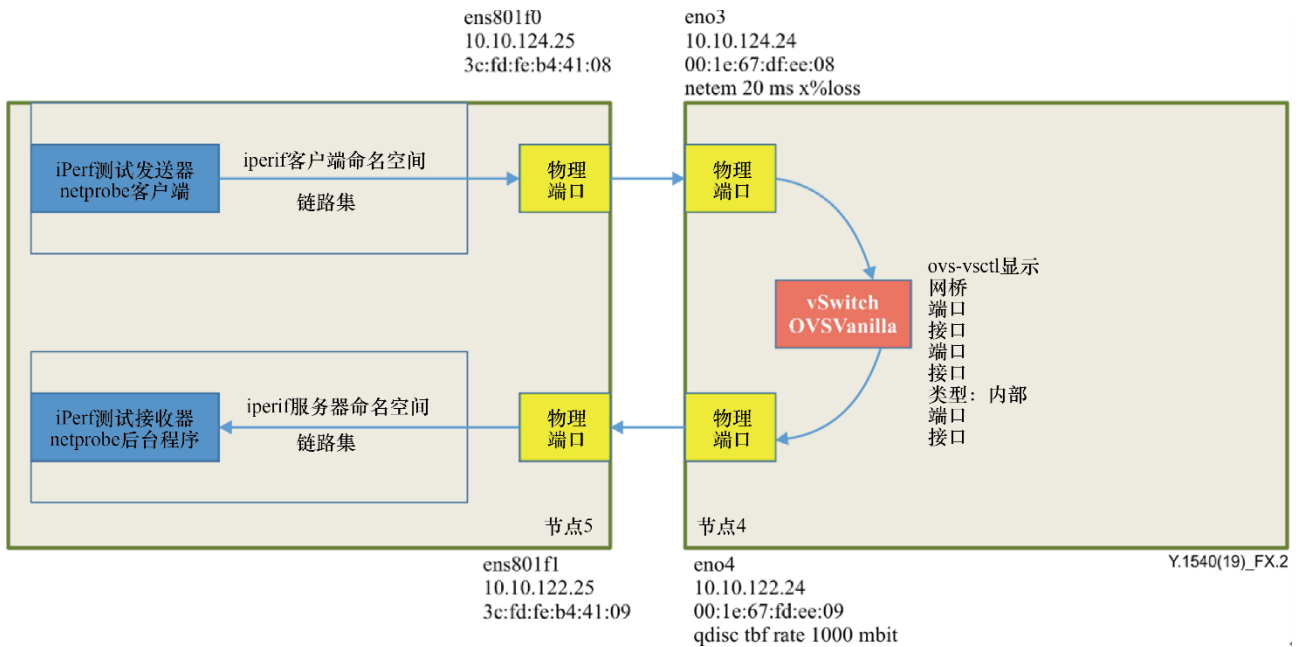


图 X.2 – iPerf、校准网络（DUT）和竞争网络（措施）流量的测试设置

网络命名空间对于强制流量在相关网络接口上退出并避免通过内核的内部路由至关重要。Netprobe工具可以提供竞争的UDP流量和总流量的一个子流，以及每个分组的丢失和延迟测量结果（以毫秒为单位的单向和往返）。

#### X.4 测试工具

在评估中使用了多种开源测量工具，这些工具带来了目前的总结和一路走来的决策。这些是思科的T-rex、iPerf 2、iPerf 3、NetProbe和一个尚未命名的新工具。流量整形器和监管器功能是典型的Linux发行版的一部分，netem网络损害模拟器也是如此。

早期对T-rex的UDP测试支持第1阶段的评估，并部署了[b-TST 009]中规定的、带有丢失验证的二进制搜索（BSwLV）先进搜索算法。然而，方法选择（使用不同步的Tx和Rx计数器确定的丢失）和难以激活TCP测试鼓励对其他工具开展研究。

虽然iPerf 2已被iPerf 3的开发所继承，但目前的测试已确定，一旦学习了一些技巧，iPerf 2的配置就更加可预测。iPerf 2在整个本概述中都使用（除非另有说明）。MTU大小的分组始终被使用。Linux上的iPerf 3有一些“特征”看起来需要整理（有些配置会遇到发送速率限制）。目前在并行开发iPerf 3，需要一个子版本号来区分不同的来源。

NetProbe专门用作补充测量系统（提供iPerf 2/3没有的延迟测量），并用作竞争流量生成器（具有测量能力）。

#### X.5 利用iPerf 2校准报告的结果

iPerf 2根据传送的传输负载字节（在UDP或TCP层之上）报告速率测量结果。令牌桶过滤器（TBF）速率在“没有ETH CRC的第2层帧中的位”中予以指定，因此添加到传输负载的报头包括在TBF计算结果中（该速率包括ETH、IP和传输报头位）。

“带OH”的、接收到的速率计算结果包括以下报头中八位字节的每个分组开销：ETH（14）、IP（20）和UDP（8）或TCP（20）。经过开销校正（1.0286）后，972 Mbps典型的UDP负载速率为999.799 Mbps。

一个TCP帧的大小是可变的，因为iPerf 2向发送器提交一个8 kB的块，这导致五个MTU大小的帧，并留下892字节用于剩余的帧，以完成该块。不过，在分组跟踪中观察到的分组大小与此模型不同。TCP流上开销（OH）的最简单校正因子在计算中仅使用最大段大小（MSS）：

$$54+1446 = 1500; 1500/1446 = 1.0373 \text{ *测得的TCP负载速率。}$$

经开销校正后，具有三个956 Mbps连接（且无延迟等复杂因子）的高端TCP负载速率为991 Mbps。使用1 Gbps经校准整形器速率测得的大多数TCP负载速率明显小于956 Mbps（参见图X.4和图X.5）。

iPerf 2报告的计算出的TCP最大接收窗口大小（RWIN）与利用20 ms RTT测得的值之间也存在某些不一致。带有3个TCP连接的测试得出：

$$956 \text{ Mbps} / 3 \text{ 个连接} = \text{每个连接} 318,666,666 \text{ bps}$$

$$318,666,666 / \text{每秒} 50 \text{ 个窗口} = \text{在RWIN中为} 6,373,333.32 \text{ 位}$$

或者 796,666 字节 ~ 0.8 兆字节（不是如iPerf 2报告的0.08 兆字节）。

## X.6 测试方法和结果总结

下图总结了部分初始测试（截至2018年11月）。

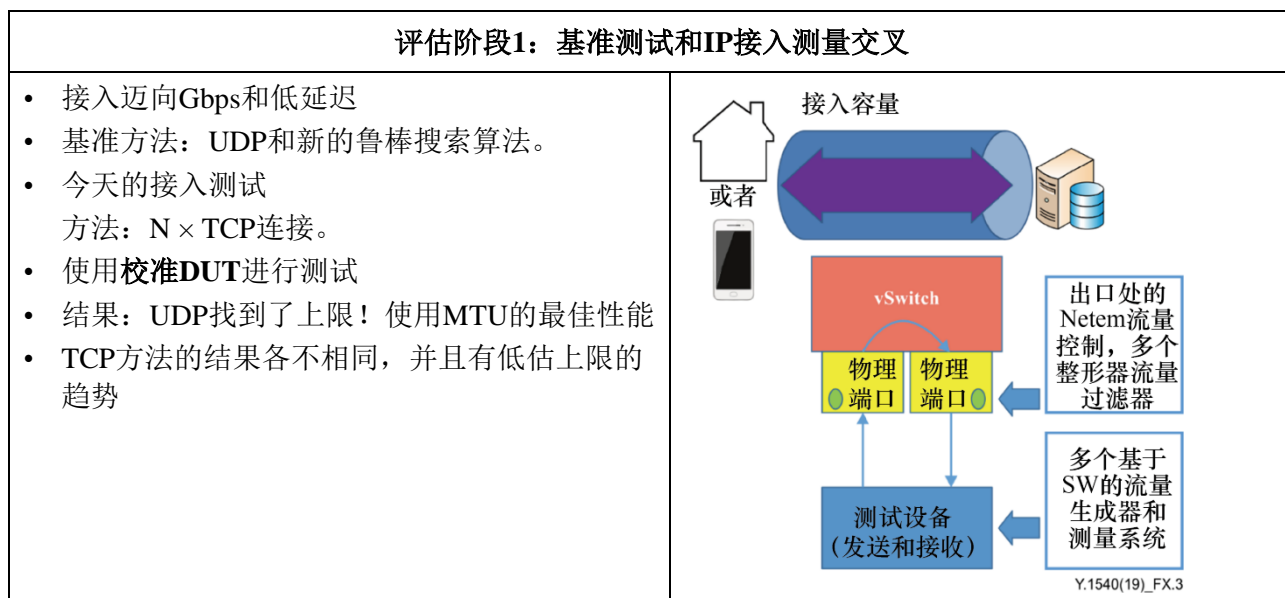
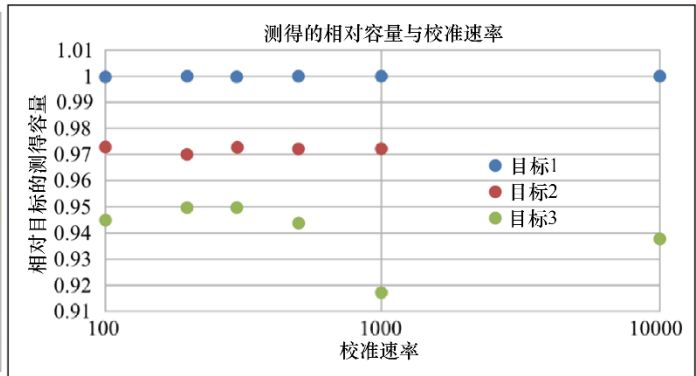


图 X.3 – 初始测试总结

## X.7 比较测得容量与校准PHY速率的测试总结

测试设置和配置（如上图X.2所述）在节点4 eno4中使用令牌桶过滤器（TBF），具有可配置的目标速率，并允许一些突发，但也设置了处理中任何分组可停留的最长时间（通常为4 ms）。100 Mbps是[b-BEREC]打算用于Req-127验证的较高速率之一。本节中的大多数结果都受到模拟延迟（在netem中）的影响。

	C-速率	目标1	目标2	目标3	延迟
11月29日	100	1	0.973	0.945	40
11月29日	200	1	0.97	0.95	40
11月29日	300	1	0.973	0.95	40
11月29日	500	1	0.972	0.944	40
1月24日	1000	1	0.972	0.917	20
12月11日	10000	1		0.9379	0
			1月2日		



Y.1540(19)\_FX.4

图 X.4 – 测得容量与校准速率总结

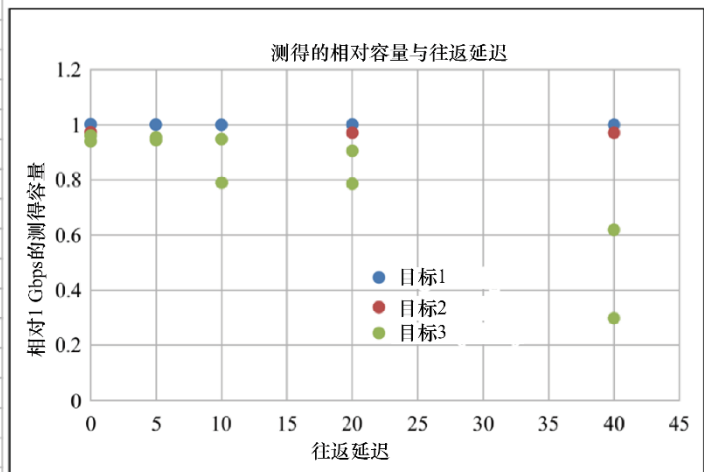
如图X.4所示，基于iPerf 2 UDP的方法在TBF配置的速率下几乎无丢失地运行，例如，在UDP负载中为972 Mbps（考虑到报头，该速率修正为1001 Mbps）。有3个TCP连接的测量对往返延迟很敏感，特别是当TBF速率增加到1000 Mbps且报头校正不足以补偿时（尽管TCP启动时间是一个因子，但2秒钟后达到956 Mbps）。

仅10 000 Mbps（10 Gbps）链路的测量（没有TBF或netem）代表非常实用的速率限制来源。在这些实际条件下，有3个TCP连接和5个TCP连接的测试在应用报头校正因子后继续低估了PHY速率。在此测试设置中，iPerf 2和T-rex无法生成~5 Gbps以上的单个UDP流（进一步研究了这一发现：2个iPerf 2客户端同时生成3.94 + 4.18 = 8.12 Gbps，看起来需要第三个流）。

### X.8 比较测得容量与往返延迟的测试总结

使用1 Gbps的单目标TBF速率，使用netem在往返路径（节点4 eno3上）中模拟恒定延迟。

	延迟	目标1	目标2	目标3
1月27日	40	1	0.972	0.62
1月27日	40	1	0.972	0.312
1月27日	40	1	0.972	0.313
1月27日	40	1	0.972	
1月27日	20	1	0.972	0.786
2月27日	20	1		0.906
2月27日	10	1		0.952
2月27日	10	1		0.792
2月27日	5	1		0.953
2月27日	5	1		0.948
12月11日	0	1	0.972	0.9379
2月27日	0	1		0.956



Y.1540(19)\_FX.5

图 X.5 – 测得容量与往返延迟@1 Gbps总结

Netprobe延迟测量（参见下一节）证实，当TBF限制速率（且抛弃一些分组）时，所配置的TBF延迟会给一些分组的netem延迟（20或40 ms，以上）增加多达4 ms。UDP容量测试结果不受延迟影响，但允许方便地添加UDP延迟测量。然而，TCP流量控制环路对延迟（特别是往返时间）很敏感，其容量测量会随着延迟的增加而受到影响（尤其是当BW\*延迟的乘积超过最大接收窗口大小配置时，参见图X.5中在40 ms上的测量结果）。

应ETSI STQ成员的请求，在5 ms和10 ms上做了TCP测试，并重复了从0 ms到20 ms的所有测试。结果表明，基于TCP的测量具有可变的的结果，且延迟倾向于增加潜在的可变性。[IETF RFC 8337]在第4节中指出了利用TCP流量控制进行测量的这个问题。

## X.9 具有竞争流量的测试总结

本节总结了三个测试，当中UDP和TCP流试图在存在竞争流量流（来自NetProbe的恒定比特率流，它可测量分组延迟和分组延迟变化，或PDV）的情况下进行IP容量测量。

表 X.1 – 竞争1 Mbps与1000 Mbps令牌桶过滤器 + 延迟 “phy2phy”

注释	TBF速率	TBF猝发, 延迟	Netem RT延迟	工具	帧大小, 字节	接收速率, Mbps	测量延迟	丢失计数	速率精度
1月27日, netprobe发送 1,156,800 bps	1000 Mbps	5kb 4.0 ms	40 ms (eno3)	iPerf2; UDP uni-dir -b 972000000	1470数据	971 Mbps	图X.6	大部分测试中为798	0.971
1月27日, netprobe发送 1,156,800 bps			40 ms (eno3)	iPerf2; UDP uni-dir -b 971000000	1470数据	971 Mbps	图X.7	245 (仅在第1秒)	0.971
1月27日, netprobe发送 1,156,800 bps			20 ms (eno3)	iPerf2; TCP 3 connect uni-dir 12 sec	5@MTU + 剩余892	<b>786 Mbps Ave</b> 10秒后达到 955 M	图X.8	X	0.786 平均 0.955 峰值



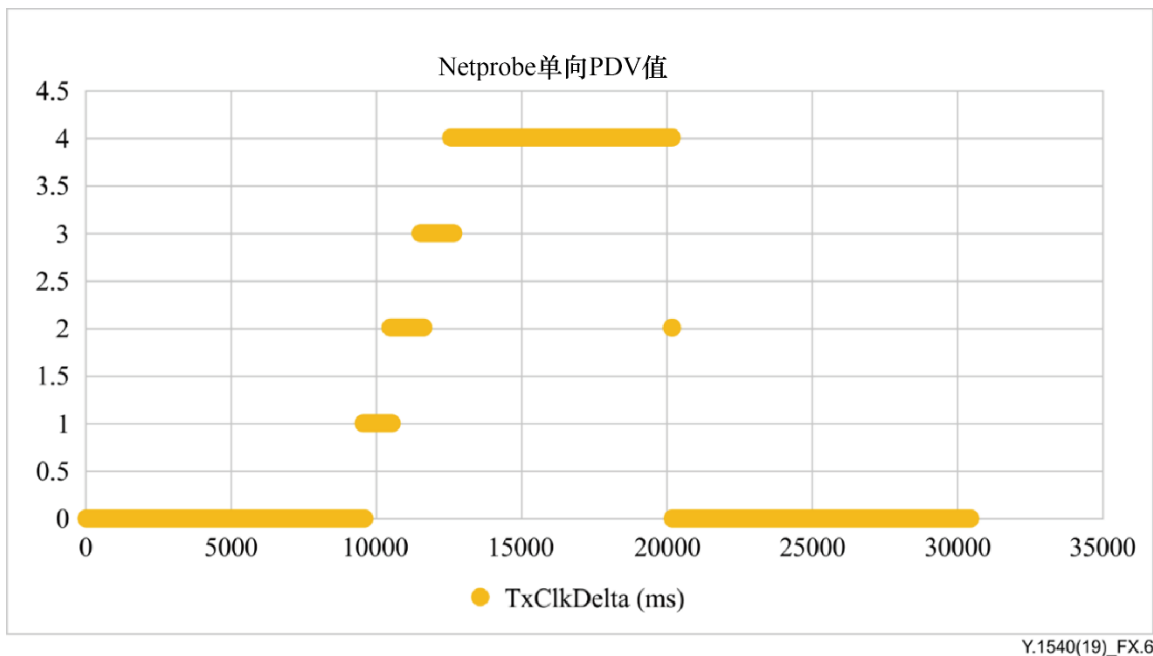


图 X.6 – 11秒UDP @972 Mbps时分组延迟变化的NetProbe测量

NetProbe测量说明了在11秒iPerf UDP测试期间（在30秒NetProbe测试期间）超过令牌桶过滤器速率（大约1 Mbps）时遇到的延迟。NetProbe流上有3个分组丢失，发送速率为1 156 800 bps。在此测试中，UDP速率评估会因竞争流量的数量而降低。图X.6延迟（单向PDV）测量表明，在iPerf 2流开始几秒钟后，出现了TBF最大延迟。

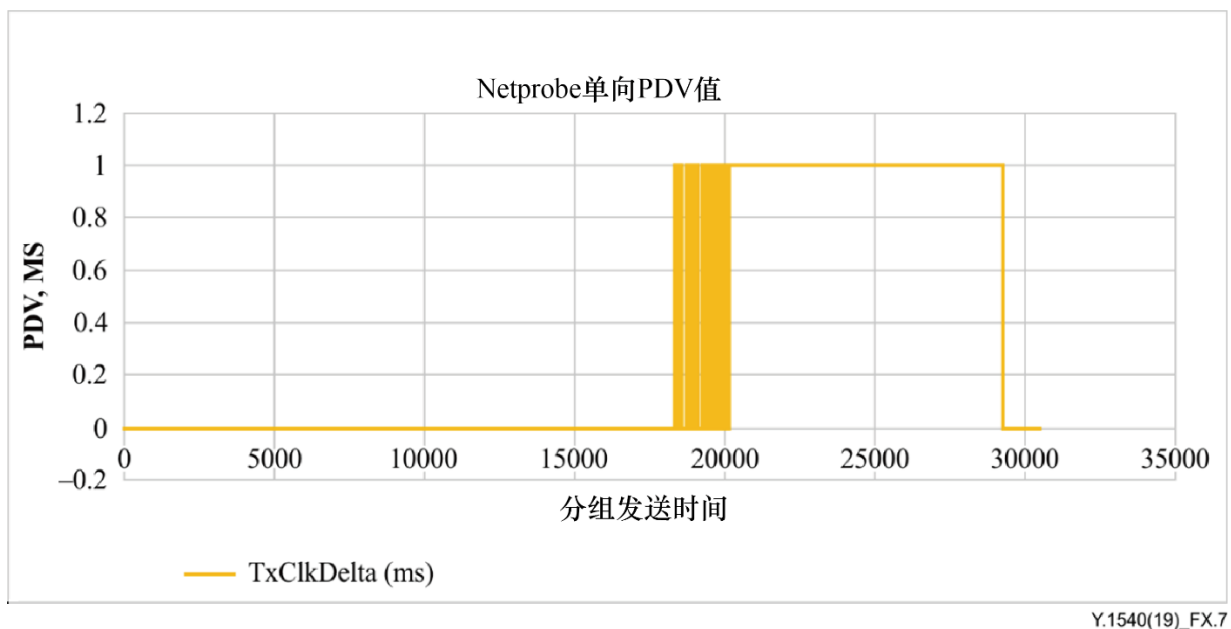
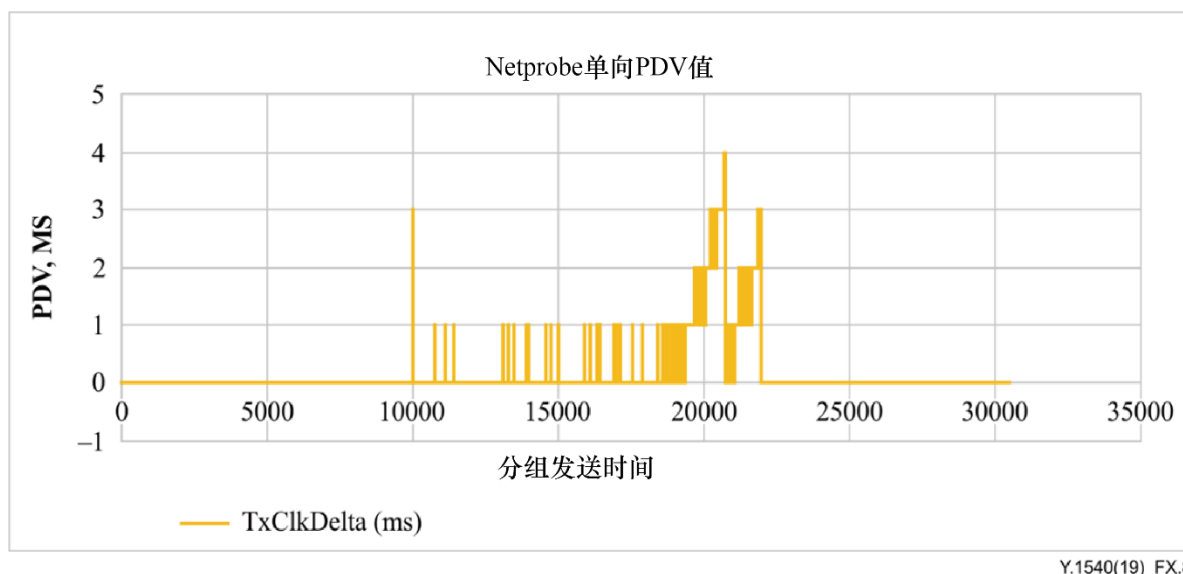


图 X.7 – 11秒UDP @971 Mbps时分组延迟变化的NetProbe测量

NetProbe测量显示了在11秒iPerf UDP测试持续时间内（在30秒NetProbe测试期间）达到令牌桶过滤器速率时遇到的延迟。NetProbe流上的分组丢失为零，发送速率为1,156,800 bps。

降低UDP发送速率以适应竞争流量，这表明，当存在竞争流量时，之前的测试（图X.6）正确评估了剩余容量。合并后的流与TBF速率更加匹配。图X.7延迟（单向PDV）测量结果表明，未观察到TBF最大延迟（并且除了分组丢失之外，该延迟可以作为速率搜索算法[b-TST 009]的一个有用输入）。



Y.1540(19)\_FX.8

图 X.8 – 3个TCP连接的12秒内PDV的Netprobe测量

NetProbe测量显示了在12秒iPerf TCP 3个连接测试持续时间内（在30秒NetProbe测试期间）达到令牌桶过滤器速率时遇到的延迟。NetProbe流上的分组丢失为零，发送速率为1,156,800 bps。在12秒TCP测试快结束时，3个连接看起来已经同步，且NetProbe PDV指明了TBF上的延迟锯齿（可能遵循AIMD样式），高至4 ms的最大TBF延迟。

### X.10 利用早期实现的新UDP测试工具进行的测试

iPerf 2和3 UDP测试缺少的功能之一是搜索算法，它可以自动确定IP容量。在之前的测试中，探索性iPerf 2测试将确定测试路径的最大接收分组速率（通常在丢失大量分组时），以该最大接收分组速率进行的第二次测试将确定是否有可能以零分组丢失的速率进行发送。T-rex工具利用了带有丢失验证算法的[b-TST 009]二进制搜索法，成功找到了“基本事实”整形器速率，但它使用了几次试验。据观察，考虑到丢失和其他损害情况的更快的搜索算法可能会有所帮助。

C-速率	目标1	目标3	目标2	IP层 udpst (IP-layer)
100	1	0.973	0.945	0.99
200	1	0.97	0.95	0.9892
300	1	0.973	0.95	0.9899
500	1	0.972	0.944	0.99
1000	1	0.972	0.917	0.99
		1月2日		

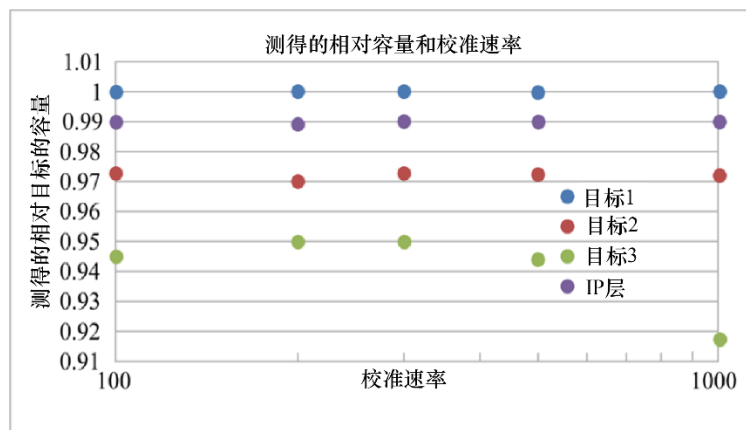


图 X.9 – 工具“udpst ver1.4”和iPerf测得容量与校准速率的比较

udpst是Len Ciavattone创作的原型测量工具。udpst的搜索算法通过根据反馈状态消息调整其发送速率来寻求最大的IP容量，反馈状态消息包括测量丢失和重新排序，以及关于延迟变化的信息。udpst接收器定期发送状态消息（缺省的间隔时间为50 ms）。分组丢失、重新排序或过度延迟变化都将触发发送速率降低，直至损伤不再存在。结果在IP层予以报告，包括报头比特。这意味着开销的校正因子仅包括ETH前导报头（14个八位字节）。对典型的990 Mbps测量应用1.0112（1264/1250）的开销校正系数，对1 Gbps经校准的整形器速率产生1.001 Gbps。

### X.11 低水平分组丢失影响的测试

第1阶段实验室评估变量之一是分组丢失。选择的初始丢失率为 $10^{-4}$ 和 $10^{-5}$ ，或总分组的0.01%和0.001%（如netem中所述）。没有指定丢失分布，因此选择了随机分布。

图X.10显示了测试结果，当中在不同的延迟下利用0.01%的丢失或无丢失得到了新结果（4月22日），并与无丢失条件下得到的先前结果一起绘制了图形。

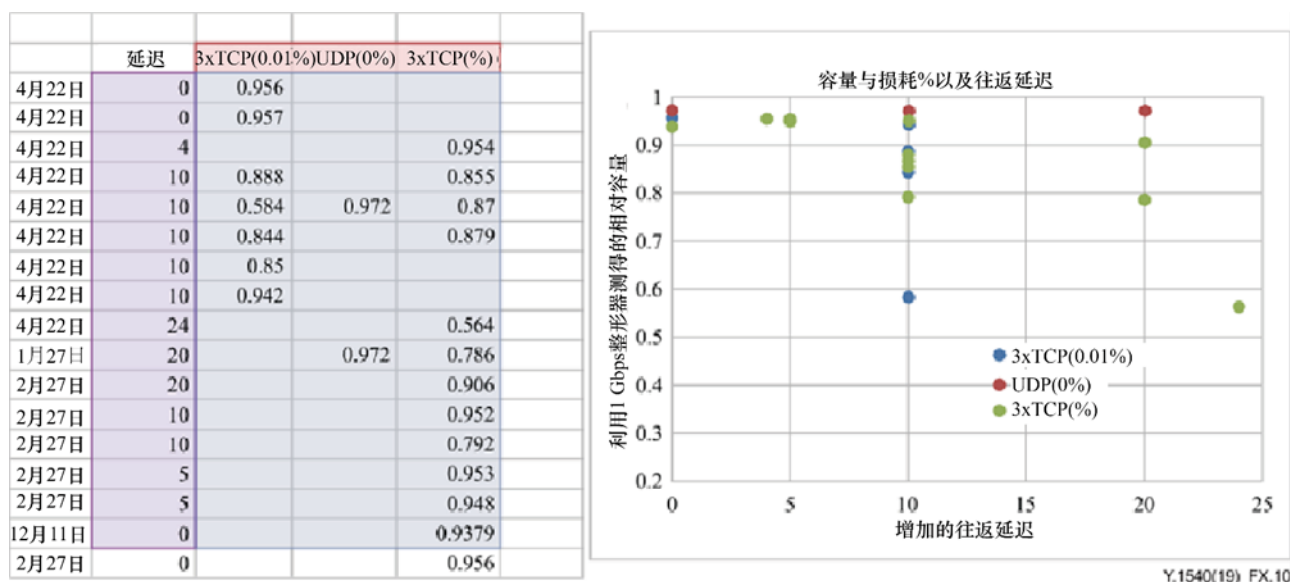


图 X.10 – 测得容量与损耗和往返延迟@1 Gbps总结

首先，注意：仅0.01%的丢失、无额外的延迟，对在传输层上利用TCP测得的容量几乎没有什么影响。当然，较高的丢失率（1%）将导致测得的速率显著降低（大约降低10倍）。当增加10 ms往返延迟时，无论有无丢失，TCP速率的变化都很大。一次有丢失和10 ms延迟的测试会产生< 600 Mbps，这么差的性能类似于最近测量的24 ms延迟（可能存在少量丢失）。在延迟为10 ms的情况下，插入0.01%的丢失看起来会增加TCP速率，这是[IETF RFC 8337]第4节中描述的那种非线性性能。

当用iPerf 2测试UDP时，模拟的丢失率反映在结果（报告有预期的1秒间变化）和最终的总和中。

结论是：当丢失率较低（0.01%）时，TCP测量变化主要由往返延迟决定。

### X.12 检查测试工具和平台的最大传输限制

尽管高至1 Gbps的校准速率/地面真实值是第1阶段实验室测试计划的主要重点，但了解测试工具软件与托管这些工具之硬件的组合的上限也很有用。针对UDP和TCP传输，使用iPerf 2进行了多次测试，以检查这一限制。测试设置只是通过10 Gbps链路到达OVS虚拟交换机的路径，没有TBF流量整形器或netem损伤。

在IETF-104 Hackathon中，对这些限制进行了最具决定性的测试。使用3xTCP连接的两次测试分别产生了9385 Mbps和9380 Mbps，这比2018年12月11日的测试要好。使用3xUDP流的测试产生了9308 Mbps，并且在10秒的测试中有1.8%的丢失和约1500个重新排序的分组（每个流试图产生3330 Mbps，但未达到这个速率）。

结论是：有足够的UDP和TCP分组生成能力和接收能力以1 Gbps进行测试，考虑到上述接近10 Gbps的测量，可能会以更高的速率进行测试。

### X.13 检查对UDP流有早期损伤的测试

在几次iPerf 2 UDP测试中，报告分组流的第一秒遭遇分组重新排序（通常少于40个分组）和少量的分组丢失，这些观察适用于1 Gbps TBF整形器的情况。为了调查早期损伤的原因，在eno4接口上（就在整形器操作之前）捕获了UDP流（使用tshark）。

使用Wireshark工具进一步检查了分组捕获情况，尤其是UDP流中早期分组的定时情况。发现早期的分组间到达时间是不规则的，直到20个或更多个分组进入流中，当中最终实现了标称的12微秒间隔。不存在序列号，因此iPerf发送器或测试路径可能已经在流的突发部分引起了一些重新排序，整形器可能已经抛弃了超过其规格的分组。

### X.14 检查测试中使用的TBF整形器参数以及与监管器滤波器的比较

进行了一系列测试，以确定大多数测试中使用的整形器参数是否对TCP流不利。使用1 Gbps整形器速率的测试得出结论，当最大延迟TBF参数从4 ms降为0.1 ms时，TCP测得的容量显著下降（使用4 ms的TCP测试得到956 Mbps的最大值，但使用0.1 ms延迟的性能变化很大，在763到862 Mbps的范围内）。另一方面，将最大延迟TBF参数从4 ms提升到20 ms，对TCP测得的容量没有任何好处。iPerf 2 UDP测试对这些变化不敏感。

当实施监管器过滤器而非整形器时，尽管试图通过参数调整来提高性能，但TCP测得的容量再次显著下降（使用整形器的TCP测试最大值为956 Mbps，但使用监管器的最高性能为2.02 Mbps）。这是因为策略器过滤器的缓冲非常有限。iPerf 2 UDP测试对策略器过滤器的使用不敏感，因为其比特率流是恒定的。

### X.15 第1阶段实验室测试总结

基于iPerf 2 TCP的评估倾向于低估经校准的容量，估计值为：

- 对于高速率，如1 Gbps（当前最先进的互联网接入服务），不如UDP准确；
- 由于TCP的流量控制，对往返延迟比UDP更敏感，尤其是当它属于TCP测量可变性时；
- 对竞争流量更敏感，因达到均衡需要更长的时间而导致平均测量值较低。

iPerf 2 UDP测量确认了容量评估的“基准”状态，它与校准的速率（实验性“地面真实”）和利用低速率接入技术/速度的大量研究结果相一致。

正如[b-TST 009]中所推测的，除了分组丢失之外，延迟可以是基于UDP的速率搜索算法的一个有用输入。一个UDP测试工具原型（udpst ver1.4）显示了满足这一需求的希望，即利用UDP自动搜索最大速率。

### X.16 平台规范

参见：<https://wiki.opnfv.org/display/pharos/Intel+POD12>

## X.17 第2阶段现场测试结果汇总

以下汇总结果（在两个测试活动中进行）使用了以下接入类型：

- 1) 固定的：DOCSIS 3.0电缆调制解调器，具有“三重播放”功能、内置WiFi和Wired GigE交换机。
- 2) 移动的：配备Cat 12调制解调器的LTE蜂窝电话（600 Mbps下行链路, 50 Mbps上行链路）。
- 3) 固定的：无源光网络（PON）“F”，1 Gbps业务。
- 4) 固定的：PON “T”，1000 Mbps业务。
- 5) 固定的：< 100 Mbps的各种速率上的VDSL业务。
- 6) 固定的：ADSL，1.5 Mbps。
- 7) 移动的：支持LTE的路由器，以ETH LAN连接到主机（静止的）。

测量结果的共识是UDP是用于容量评估的优选传输协议：

- UDP表明结果更加一致。
- UDP工具能够测量丢失、延迟、延迟变化和重新排序。
- 在各种情况下，TCP注册的速率低于UDP测试且速率可变性更大。
- 对1 Gbps PON的TCP测量显示严重低估容量。
- 关于UDP作为基准和TCP低估容量的实验室结论得到了现场测量的支持。
- 对LTE接入的测试表明，任何无线网络都存在显著的可变性。

## 附录XI

### 互联网接入相关的QoS和QoE研究简述

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

#### XI.1 引言

服务提供商、监管机构（和消费者保护组织）以及测量系统的供应商和运营商出于各种原因对互联网接入速度（IAS）测量感兴趣。旨在刻画服务提供商互联网接入产品的调查已在许多国家很好地确立。在这一领域，标准化可包括跟踪现有部署。如果进行调查的一方透明地向被调查的服务提供商提供一整套测量活动相关参数，则报告ISA估算结果的调查不需要很高的精度，并且通常会被竞争服务提供商接受。

人们也对标准化的精确IAS测量感兴趣。与商业市场中基于职责或处罚的其他精确速度或容量测量一样，标准化的精确IAS测量需要确定的精度。确定测量精度需要确定测量基准。

研究出版物有望让同行研究人员复制已发表的成果。本文稿审查了一系列研究出版物，寻找与互联网接入相关QoS参数、测量和评估有关的结果。重点包括IAS测量，但不限于此。研究界主要对QoE测量和互联网接入相关的QoS参数感兴趣。QoE相关研究采用的一些方法看起来比接入速度估计更全面地指明了用于表征互联网接入和端到端通信中所涉组件的QoS参数。此外，还对后一组QoS参数做了研究。本文稿提供的文本摘录和参考文献有助于将对演进标准的讨论建立在参数而非观点基础上。

注意：只要有可能，研究都是基于使用商业途径经或多或少的大规模测量验证过的方法。参考文献[2]、[4]、[6]、[7]、[8]和[10]满足这一准则。

#### XI.2 主要结果

本节总结了互联网接入和接入用法相关的QoS、通过研究公布的KPI和测量方法。

最大可实现接入速度的基准测量是通过用UDP流量洪泛接入链路来获得的[1]。此外，一项大规模研究调查使用UDP来精确测量接入速度[2]。一家主要的OTT提供商在内部速度计工具中包含UDP测量设备[3]。

与基于并行TCP的测量相关的一个结论是，它们可以用于估计互联网接入带宽[1]。一些出版物讨论了影响基于并行TCP的测量精度的特定因素，并更详细地研究了其中一些损伤[1]、[2]、[4]。基于并行TCP的测量捕获了存在后台流量情况下的有效可用带宽[1]。注意：只有在没有后台流量的情况下，可用带宽才等同互联网接入速度。基于并行TCP的测量无法检测是否存在背景流量。有可用的用于诊断后台流量是否存在的工具和方法[1]、[2]。

[14]发现，UDP提供了一种可行的通用传输协议。这一说法是基于在北美和南美、欧洲、亚洲和大洋洲（值得注意的是错过了非洲）所做的测试。作者发现，UDP流量在某些端口被阻塞，或者在极少数情况下被完全阻塞。发现在企业网络和“连通性受到挑战的地理区域中的网络”中存在UDP损坏现象。在UDP传输失败的情况下，建议回退到TCP传输。Wi-Fi对应用QoE的影响可以通过被动收集的商品接入点统计数据来表征，如[10]所提出的。作者报告说，对低于15 Mbit/s的Wi-Fi TxPhymean，QoE普遍下降。

许多应用采用加密传输。这为基于网络的QoE评估留下了分组和IP流信息。[11]、[12]和[13]提出了与流QoE相关的网络QoS参数。这里建议的参数可能也有助于比较和表征IP访问。



智能手机的普及增加了OTT、服务提供商和研究人员对移动网络QoS带来的QoE的兴趣。已调查的研究出版物表明或明确指出，并行的、基于TCP的测量无法为此目的提供有用的输入。

移动网络带宽波动与普通无线网络条件（例如，用户移动性）下的用户QoE相关。流行的视频流调整视频质量以应对这些情况。在带宽波动的环境中，用户QoE与QoS KPS的相关性需要获取平均可用带宽之外的其他参数，如平均最大吞吐量；参见[6]、[7]、[8]。一般来说，用户应用延迟或RTT测量是强制性的KPI。这些出版物指出，从QoS测量结果推断用户对LTE互联网接入的满意度需要分别获取与带宽延迟积（或传输中的比特数）或带宽波动相关的KPI[6]、[7]、[8]。

在主要OTT提供商的相关市场中，带宽仍然很便宜。用户感知的万维网性能是针对该OTT的现代网络服务的主要指标。万维网延迟是改善OTT相关市场中用户QoE的主要障碍[5]。从OTT的角度来看，TCP的设计限制了进一步的改进。在[5]发表后的一段时间，IETF开始致力于QUIC，一种新的基于UDP的传输协议。

一个出版物的结论是，在许多OTT核心市场的移动LTE环境内，其研究对最终用户的影响看起来很直接：如果用户的主要移动接入用途是流式视频或万维网浏览，则其不需要超高速蜂窝合同（[7]，注意：这一说法仅适用于评估的位置和时间点）。对固定互联网接入也有类似的说法[5]，[9]看起来也指明了这一点。这些评估不是全球有效的。这些说法表明，如果互联网接入提供的稳定平均吞吐量远高于产生高用户QoE所需的吞吐量，则用户对互联网接入的满意度可能不再与互联网接入速度相关。

### **XI.3 分析与QoS和QoE测量相关的研究出版物**

2010年至2012年，互联网接入速度测量是一些研究出版物的重点。随后，研究界的兴趣转向了互联网消费者的体验质量。这并不意味着，互联网接入带宽、其属性和QoS测量在后来几年出了研究人员的研究范围。如果其测量与消费者QoE关联，则互联网接入QoS参数及其测量仍在研究中。

#### **XI.3.1 固定互联网接入速度测量**

Goga和Texeira[1]研究了用于估算互联网接入速度的工具。为了消除不必要的干扰，在非高峰时段使用固定网络进行了测量。这项工作的目标是比较可用的带宽测量工具。要做到这一点，这些工具的精度和测量负荷是利用控制的交叉流量，通过测量商业ADSL和电缆提供商的互联网接入来确定的。

作者通过测量在用UDP流量洪泛链路时获得的接入UDP容量来对IAS进行基准测试。之后，他们使用基于TCP的工具对IAS进行了估算。

在没有交叉流量的情况下，根据非高峰/无交叉流量测量的结果，可以计算得到以下相对于基准的相对估算误差：

基于TCP的洪泛（“速度测试”）：4.06%最佳情况，5.28%平均错误，6.8%最坏情况。

平均而言，接入带宽被低估了。

基于TCP的洪泛无法检测交叉流量。一个测试证明了这一点，在执行基于TCP的速度测试时，单个TCP流处于活动状态。后者估计其可用带宽，但不估计IAS。有现成的、用于检测后台流量存在情况的工具。

作者发现，如果家庭网关充当网络地址转换器，则家庭网关的分组处理速率是有限的。因此，测量分组大小的选择会影响IAS测量的精度。

最后，作者介绍了估算IAS所需的负载。基于TCP的速度测试产生最高负载，而其他工具估算IAS的负载不到基于TCP的速度测试产生之负载的10%。

此外，Kanuparth[2]使用基于UDP的测量来测量IAS。他观察到，瓶颈链路上存在整形器降低了基于TCP速度测试的IAS估算结果的精度。在最好的情况下，这样的测试报告一个链路速度与整形速率之间的比。

Flach等人[4]提供了一种确定用于限制互联网接入带宽的监管器速率（和其他属性）的算法。没有对IAS估算结果做直接讨论。平均而言，受监管的TCP流比不受监管的TCP流的分组丢失率高6倍。没有建议算法的、基于TCP的速度测试IAS估算结果其精度可能会比较差。

作者补充道，在本文发表时，亚洲和非洲的商业互联网接入产品在一定程度上仍采用了监管措施。

一项基于工具和测量的测试研究了UDP作为通用互联网传输协议是否是一个可行的基础，结果表明UDP确实是一个可行的通用传输协议[14]。这一说法是基于在北美和南美、欧洲、亚洲和大洋洲（尤其是非洲）所做的测试。作者发现，UDP流量在某些端口被阻塞，或者在极少数情况下被完全阻塞。在UDP传输失败的情况下，建议回退到TCP传输。

有2%到4%的地面接入网出现UDP阻塞。UDP阻塞主要与接入网有关。[14]的作者发现，UDP受损尤其集中于企业网络以及连通性受到挑战的地理区域中的网络。在UDP工作于这些地面接入网的情况下，没有发现UDP报头对流量造成系统性损害的证据。

为了触发到TCP的回退，节点不需要测量或记住关于其对等体的任何东西，而只需要主管其与互联网的连接性（同样，由[14]的作者给出的本建议书指明，UDP损伤是基于特定的接入链路而不是网络）。

### XI.3.2 无线局域网接入速度测量

Kanuparth [2]早前研究了IEEE 802.11 WLAN接入性能。Da Hora、Van Doorselaer、Van Oost和Teixeira发布了一个模型来估计Wi-Fi网络对消费者QoE的影响[10]。后一种模型作者的工作基于的是被动收集的商品Wi-Fi接入点参数。提供商网络中的测量活动得出的结论是，大多数Wi-Fi网络表现良好。仍有超过10%的AP揭示，对至少5%的所有收集样本（或更多），估计的MOS < 3。

收集了以下Wi-Fi参数（[10]的表II）：

表 X1.3.2-1 – 接入点上测得的Wi-Fi指标（[10]的表II）

BUSY	媒质为忙的时间百分比	2s
WiFi	因Wi-Fi流量而为忙的时间百分比	2s
nonWiFi	因非Wi-Fi流量而为忙的时间百分比	2s
TxPhy	发送的最后一帧的PHY速率	1s
FDR	发送/重传到站的帧	1s
RSSI	接收信号强度指示器	1s



作者采集的样本包含表X1.3.2-1中每个指标的平均值、标准偏差（std）、最小值、最大值、25百分位和75百分位。

样本统计数据在周期T内进行评估，具体取决于应用：

- 对音频和视频实验， $T = 10s$ 。
- 对网页浏览， $T = 10s$ 。
- 对Youtube流媒体（测试期间每个视频播放两分钟）， $T = 120s$ 。

研究人员发现，以下应用特征向量集能够最好地将消费者应用QoE与Wi-Fi特征子集相关联（[10]，表III）：

- 视频：TxPhy25百分位、BUSY25百分位、BUSYmax、RSSImean、RSSI75百分位、WiFi25百分位。
- 音频：TxPhymin、RSSIstd、WiFi25百分位、WiFimax、nonWiFimax、FDRmean。
- YouTube：TxPhymin、BUSY75百分位、RSSImean、RSSI25百分位、WiFi25百分位、nonWiFimin。
- 万维网：TxPhymax、BUSYstd、RSSImin、WiFimax、nonWiFimax、FDRmean。

[10]中采用的方法基于机器学习。本文稿不讨论[10]的结果是否普遍适用。假设所提到的QoS参数与应用QoS相关。完整的模型和每个应用的参数拟合方法可以在参考文件中找到。这里引用的最后一个注意事项和经验法则是，[10]的作者预计当TxPhymin低于15 Mbit/s时，QoE会下降。

### **XI.3.3 移动网络接入QoE和速度测量**

Dimopoulos等[6]以及Casas等（[7]和[8]）的出版物涉及测量移动终端的流式视频QoE，[7]研究其他应用。[7]得出的结论是，“某些应用的用户QoE对带宽波动非常敏感。带宽变化导致的吞吐量波动在蜂窝网络中非常常见，但不幸的是，在今天的网络测量中，它的QoE效应没有被捕捉到，因为通常只考虑平均吞吐量值。”注意：“今天的网络测量”指的是基于TCP洪泛的测量。

此外，[6]表明，如果存在吞吐量可变性，则平均TCP吞吐量与用户QoE的相关性并不强。

这些出版物通过以下参数将用户QoE与网络QoS测量结果相关联：

- [6]的结论是，使用平均带宽延迟积、最大分组重传、平均最大传输比特数和最小吞吐量的累积总和。
- [6]进一步建议，通过“从其数据集中移除所有视频会话的前10秒”来“减少在检测分辨率变化时启动阶段引入的噪声”。这个启动阶段的吞吐量似乎偏离了视频流剩余时间内的吞吐量及其波动（平均会话持续时间为180秒）。
- [7]提供了具有吞吐量波动的实验室测量结果，[8]引入了两个QoS指标来捕获它们：最大会话下行流吞吐量和平均会话下行流吞吐量。这些被归类为“最相关的参数”。
- [8]进一步评估了更多关键性能指标及其与MOS预测的相关性和精度。除了平均吞吐量和最大吞吐量之外，还发现以下KPI会影响MOS预测精度：平均信号强度、会话量和会话持续时间。

- 在[8]中调查的KPI基于可提供非常好的移动网络接入的区域内的测量结果。[7]显示了实验室结果，表明额外的KPI（如RTT和短时间带宽中断（由切换引起））或多或少会对QoE产生重大影响。
- [7]进一步提到网络中立是一个相关主题。其中一个被调查的应用是被一个参与ISP限制了带宽。

### XI.3.4 加密应用的QoE测量

相比非加密应用QoE共享，基于网络的加密应用的QoE判断需要对相关QoS参数进行更彻底的调查。提议的参数也表征了访问属性。[11]、[12]和[13]为此目的建议了一些参数。其共同目标是通过观察网络QoS参数来识别或优化以下视频流QoE参数：

- 初始启动延迟（启动时间）；
- 多块（段）平均比特率；
- 流平均比特率切换（由变化的视频质量水平引起）；
- 重新缓冲率。

常用的方法是测量视频（和音频[12]）流的吞吐量。样本的推荐持续时间是视频（或音频，分别地）流的典型块或段持续时间。这些时间介于2到15秒之间，为YouTube视频流记录的时间值为4秒[13]。

以Mbit/s为单位指向重放终端的视频数据流建议由1秒的样本来捕获，然后通过块持续时间[11]、[13]相关的统计数据来评估这些样本。平均比特率通过[11]由5秒简单移动平均样本来计算。[13]对此进行了扩展，以捕获10个连续秒“窗口”的数据（每个窗口产生5个平均值，每个平均值由5个1秒样本计算得到）。

[13]提出了以下QoS参数和统计数据，以在学习阶段将传输层属性（可能无法被网络检测到）与网络层参数相关联：

表 X1.3.4-1 – [13] 表I中考虑的总体特征列表

	网络层	传输层
10 s评估窗口	字节计数 分组计数 吞吐量 空闲时间	TCP标志计数（SYN、ACK、FIN、URG、PSH和RST） 无序字节/分组 TCP实际吞吐量 重传比率（0、1、2和> 2的比率） 在实时QoE评估的情况下： 开始传输中的字节 结束传输中的字节
分组 统计数据：平均值、最小值、最大值、中值、标准差、偏斜度、峰度。	分组到达间隔时间 每个分组的字节数	重传每个分组 传输接收窗口 RTT（仅用于上行流量） 传输中的字节

更详细的测量定义和说明可以在[13]中找到。

为了关联网络和传输测量结果，建议在受控网络条件下进行实验室学习。

[13]仅通过前10秒评估窗口期间收集的统计数据来描述启动阶段。

为了表征重传和重新缓冲事件，[13]评估并比较每个窗口前五秒的属性和每个评估窗口后五秒的属性。

[13]发现以下网络参数与YouTube QoE相关：

- 初始启动延迟（下载字节数中位数、平均分组到达间隔时间、下行吞吐量中位数 – 3.3、6.6和10秒后比较的分组统计数据）；
- 重新缓冲事件（评估窗口前半部分的最小下载字节数，评估窗口前半部分的下行吞吐量）；
- 视频质量（下行吞吐量、上行吞吐量）。

通过添加机器学习方法，[13]继续开发和参数化QoE模型。本文稿仅提取与应用QoE相关的QoS测量结果。感兴趣的读者可以在[13]中找到完整的模型。

#### **XI.4 互联网接入性能相关的一般趋势**

两份报告还提供了市场需求的一般陈述。

Flach等[5]提到，在“带宽仍然相对便宜的环境中，万维网延迟现在是提高用户感知性能的主要障碍”。这与固定网络访问有关，但智能手机作为终端设备的商品被认为是这一趋势的原因之一。注意：一些作者与一家大型OTT合作。

[9]的作者根据ITU-T P.1203建议书，利用1920 × 1080像素的显示器，使用经商业固定网络DSL接入接收的、一个大型OTT的内容，对QoE进行了测量。在测量设备与DSL路由器之间插入整形器，下行带宽在0.256与37.5 Mbit/s之间分11步变化。对于3.073 Mbit/s的下行带宽，MOS值为4或更高。

与移动网络相关的文献[7]的作者总结说，“4 Mbps的下行链路带宽足够高，当被智能手机访问时，在整体质量和[视频流]的可接受性方面接近最佳的结果。对最终用户的影响很直接：...一份昂贵的LTE合同并不是今天获得接近最佳体验的必要条件”。注意：该文档发布于2016年，作者使用了HD720p视频来实现其结果。

所有三种说法都表明，对于足够高的互联网接入带宽，用户和内容提供商对互联网接入性能的满意度可能与最大互联网接入速度无关。

#### **附录XI的参考文献**

- [1] "Speed Measurements of Residential Internet Access", Oana Goga and Renata Teixeira, PAM 2012, 2012.
- [2] "End-to-end Inference of Internet Performance Problems", Partha Kanuparth, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, 2012.
- [3] "Diagnosing Path Inflation of Mobile Client Traffic", Kyriakos Zarifis, Tobias Flach, Srikanth Nori, David Choffnes, Ramesh Govindan, Ethan Katz-Bassett, Z. Morley Mao, and Matt Welsh, 2014.
- [4] "An Internet-Wide Analysis of Traffic Policing", Tobias Flach, Pavlos Papageorgey, Andreas Terzis, Luis D. Pedrosa, Yuchung Chengy, Tayeb Karimy, Ethan Katz-Bassett, and Ramesh Govindan, IEEE SIGCOMM, 2016.

- [5] "Reducing Web Latency: the Virtue of Gentle Aggression" Tobias Flach, Nandita Dukkipati, Andreas Terzis, Barath Raghavan, Neal Cardwell, Yuchung Cheng, Ankur Jain, Shuai Hao, Ethan Katz-Bassett, and Ramesh Govindan, IEEE SIGCOMM 2013.
- [6] "Measuring Video QoE from Encrypted Traffic", Giorgos Dimopoulos, Ilias Leontiadis, Pere Barlet-Ros, and Konstantina Papagiannaki, IMC '16, 2016.
- [7] "Next to You: Monitoring Quality of Experience in Cellular Networks from the End-devices", Pedro Casas, Michael Seufert, Florian Wamser, Bruno Gardlo, Andreas Sackl, and Raimund Schatz, IEEE Transactions on Network and Service Management Vol 13 issue 2, 2016.
- [8] "Predicting QoE in Cellular Networks using Machine Learning and in-Smartphone Measurements", Pedro Casas, Alessandro D'Alconzo, Florian Wamser, Michael Seufert, Bruno Gardlo, Anika Schwind, Phuoc Tran-Gia, Raimund Schatz, QoMEX 2017.
- [9] "Measuring YouTube QoE with ITU-T P.1203 under Constrained Bandwidth Conditions", Werner Robitza, Dhananjaya G. Kittur, Alexander M. Dethof, Steve Göring, Bernhard Feiten, Alexander Raake, QoMEX 2018.
- [10] "Predicting the effect of home Wi-Fi quality on QoE: Extended Technical Report." Diego Da Hora, Karel Van Doorselaer, Koen Van Oost, Renata Teixeira. [Research Report] INRIA; Technicolor; TelecomParisTech. 2018. <hal-01676921>
- [11] "QoE-based low-delay live streaming using throughput predictions." Konstantin Miller, Abdel-Karim Al-Tamimi, and Adam Wolisz. 2016. ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl. 13, 1, Article 4 (October 2016), 24 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2990505>.
- [12] "eMIMIC: Estimating HTTP-based Video QoE Metrics from Encrypted Network Traffic", Tarun Mangla, Emir Halepovicy, Mostafa Ammar, Ellen Zegura. Georgia Institute of Technology yAT&T Labs – Research.
- [13] "Real-time Video Quality of Experience Monitoring for HTTPS and QUIC", M. Hammad Mazhar, Zubair Shafiq, The University of Iowa.
- [14] "copycat: Testing Differential Treatment of New Transport Protocols in the Wild", Korian Edeline, Mirja Kühlewind, Brian Trammell, Benoit Donnet, ANRW '17, Prague.

## 附录XII

### 精确的比特率测量

（此附录非本建议书不可分割的组成部分。）

#### XII.1 引言

沿通信路径的每次流量计量都被配置为在单个通信层上捕获或强制执行比特率（或者缺省地这样做）。了解通信层（在其上执行瓶颈比特率）将减少测量误差。

沿实验室或网络测量路径的中间设备可被配置为条件流量，并在其不存在的情况下，物理接口可强制执行比特率。比特率测量系统可指明高于或低于比特率的速率，如果两者不在同一通信层上测量比特率，则由瓶颈来强制执行。

基准测试和校准尤其需要对各层有准确了解，在这些层上通过这些流量调节器或物理接口来计量流量。将带宽测量结果准确地从一层传输到另一层需要了解不同层上的测量分组报头大小。测量结果的准确和可理解的呈现需要指明强制执行比特率的层以及该层上的伴随信息，如分组PDU大小。

注意：忽略分组报头和在其上强制执行比特率的层而导致的错误是比特率测量错误的一个来源，但不是唯一的来源。使用基于分组抛弃的闭环拥塞反馈的测量，如TCP或QUIC，引入了额外的误差源，这取决于往返延迟和分组丢失。

本附录还包括有关令牌桶过滤器的信息，它们是流量整形器和监管器的关键组件。

#### XII.2 主要结果

接口和协议性能可以通过速率或带宽来表示，就像某 Mbit/s。对于一般目的，如调查，带宽的粗略知识足以表征测量结果。如果带宽测量旨在校准或基准被测设备或通信路径的性能，则这种情况会发生变化。为了能够比较不同方法收集的带宽测量结果，或者沿具有多个流量调节点的测量路径收集的带宽测量结果，准确的结果需要额外的信息。测量系统和在不同层上强制执行的比特率引入的误差是其中之一（但不一定是唯一的）。

考虑如图XII.2-1所示的简单带宽测量设置。

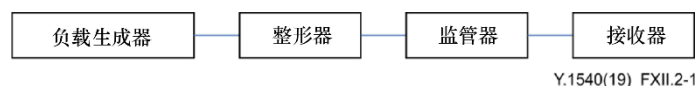


图 XII.2-1 – 一种简单的带宽测量装置

注意：没有任何声称说所示配置是典型的。它的一部分可能存在于许多网络中。

测试的目的可以是确定测试设置的最大无丢失带宽。比较测量结果的阈值是带宽，据此来配置整形器和监管器的速率（假设两者配置为相同的速率 $C_{\text{Access}}$ ）。

测量可揭示 $0,95 * C_{\text{Access}}$ 的最大无丢失带宽。如果测试的目的是校准或基准整形器和整形器的性能，那么这本身并不是一个有意义的结果（即使是在实验室受控条件下收集的）。

假设负载生成器和接收器是同一个设备。缺省情况下，该设备生成并计算分组大小和结果比特率，就像第2层上的 $C_{\text{Access}}$ 一样。如果整形器和监管器被配置为计算和调度或限制第1层上的带宽，如果在第1层上测量 $C_{\text{Access}}$ ，则它们可以在带宽为 $C_{\text{Access}}$ 时准确地转发流量。所有设备都按照设计和配置正常工作。看起来与预期结果偏差5%的不精确是由测试设置计量流量中所用设备所在的层造成的。

现在考虑测试人员引入一个小的变化，比如将测量分组的大小减少50%。现在得到的带宽测量结果可能是 $0.93 * C_{Access}$ 。假设瓶颈不是由测试设置中任何处理器每秒有限的分组性能造成的。那么该结果指明分别沿测试路径的层或计量不兼容。较小的分组导致第2层上的比特率较小，而第1层的比特率保持不变。生产链按照配置正常工作。

如果调节设备处的测试流带宽未知，或者无法通过配置发送器来控制，或者如果调节设备限制流量的所在层未知，则只能以有限的精度来校准或基准这样一个设备。

### XII.3 报头大小造成的带宽测量误差估计

流量仅在调节整形器所在的通信层上被限制为恒定比特率。监管器或物理接口工作。不应期望整形器和监管器工作于任何特定的和明确指定的层上。在某些情况下，网络提供商设备允许对整形器和监管器速率计工作所在的层进行配置。

为了准确比较校准和基准的带宽测量结果，需要以下信息：

- 发送器和接收器的通信层和PDU的大小。
- 添加或删除的报头的所有大小，如果发送器和接收器不在同一层上对流量进行计量的话。
- 配置参数层，要配置其待校准或基准的流量调节设备。如果瓶颈是物理接口，那么通常第1层接口带宽是已知的。
- 插入或移除的报头的确切大小，如果发送器、接收器和流量调节设备没有以相同的PDU大小在完全相同的层上计量带宽的话。
- 阈值层，测量结果与之进行比较，以及添加或删除的所有的报头大小，如果阈值所在层不同于发送器或接收器所在层的话。

如果与发送器和接收器带宽测量结果相比较的阈值比特率不在同一通信层上，则会导致测量损伤。此外，沿生成路径的活动节点、策略和互通点的数量越多，就越有可能存在在发送和接收设备上可能不存在的附加报头，例如，第2层与第3层之间或者第3层与第4层之间的隧道报头。

如果在计算中使用以太网报头，则应知晓VLAN标签的存在和数量。

在某些情况下，第1层需要转义序列来正确成帧。转义码序列的存在可能取决于负载比特样式。在这种情况下，测量精度是有限的。

一般来说，比特率 $C_x$ 被限制于第x层上的（物理的或）配置的带宽。在该第x层上，且仅在该第x层上，下面的等式适用于要在第x层上测量的比特率 $C_x$ （从ITU-T Y.1540推广而来）：

$$C_x(t, \Delta t) = N_x(t + \Delta t) / \Delta t \quad (1)$$

其中， $N_x$ 是在指定时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内，在出口测量点产生成功的第x层分组传输结果的基本段上可以传输的第x层比特总数。在传输第x层分组的通信第y层上，需要为每个第x层分组添加固定长度 $h_y$ 比特的分组报头。如果唯一已知或测得的带宽是第x层的带宽，则只有当第x层上分组数量 $p_x$ 和第y层报头大小 $h$ 已知时，才能确定测得的分组流所消耗的第y层带宽：

$$C_y(t, \Delta t) = [N_x(t + \Delta t) + p_x * h_y] / \Delta t = C_x(t, \Delta t) + p_x * h_y / \Delta t \quad (2)$$

影响测量误差的两个变化很明显：

- 不出所料，第y层 $C_y$ 带宽大于第x层 $C_x$ 带宽。
- $C_y$ 取决于第x层上的分组数量 $p_x$ ，而 $C_x$ 独立于第x层分组数量 $p_x$ 。

分组数量 $p_x$ 和平均分组大小 $s_x$ 通过公式（3）联系起来：

$$s_x = C_x (t, \Delta t) / p_x \quad (3)$$

第 $x$ 层分组大小 $s_x$ 影响在第 $y$ 层上测得的最终比特率 $C_y$ 。

标准、公共规范和产品信息可能允许为某些市场确定不同通信层上的报头和最大分组大小。网络或服务提供商设备强制执行所配置速率的层应被视为未知。

如果考虑来自尽可能多的不同层的、关于测量分组大小的详细信息和指定的瓶颈报头格式信息，则产生对带宽测量结果的最佳精度改进。

在没有详细信息的情况下，保守的猜测是假设最小开销大小，该最小开销大小允许通过所使用的测量设置或关于接入的一般信息来假设，如果后者的层报头格式规范不可用的话。这仍然可减少产生的测量误差。

必须知晓接收到的测量分组的平均大小或接收到的测量分组的数量，以减少测量误差。

如果不能准确知晓层报头和接收到的平均测量分组大小或数量，但可以确定最大值和最小值，则可以确定经校正的测量结果通道。

如果知晓通信层报头和接收到的平均测量分组大小或数量或者它们的最大值和最小值（除了带宽测量结果之外），则公式（1）、（2）和（3）允许计算不同通信层上的带宽。

#### XII.4 有线IEEE 802.3以太网接口的开销计算示例

注意：下面显示的所有计算仅适用于通过符合IEEE 802.3系列标准规定之以太网的物理链路传输分组的瓶颈。

本第12研究组项目进行了实验室接入带宽测量测试（参见附录X）。测量工具“iPerf 2”根据所传送的传输负载字节（在UDP或TCP层之上）报告速率测量结果。[配置为充当瓶颈的整形器的]令牌桶过滤器速率在“线上比特”中指定，因此添加到传输负载的报头包括在令牌桶过滤器计算中（速率包括ETH、IP和传输报头位）。

第一次测量的UDP负载已知为1470字节。以太网连接是一种本地连接（没有VLAN报头）。

较低层报头计算：

- UDP头：8字节；
- IPv4报头：20字节；
- 以太网。

报头

14 字节（第2层，无循环冗余校验，CRC）；

18 字节（第2层，包括循环冗余校验，CRC）；

26 字节（第1层）。

在各种配置的瓶颈速率下，收到了97.2%的配置速率，无分组丢失。起初，假设以太网第2层帧的大小包括CRC字节。对于每个分组46字节的报头，结果校正系数为1.0313。“线上比特”整形器带宽计算为所配置速率的1.00242倍。误差为0.24%，较低。

更仔细的调查显示，整形器速率不包括CRC字节。基于42字节报头大小的报头校正为1.0286。“线上比特”整形器带宽计算为所配置速率的0.999799倍。误差为-0.02%，又低了一阶。2 ppm的测量误差表明，实验室整形器配置在以太网第2层（无CRC字节）上非常精确。

注意：网络提供商设备也可以在无CRC的情况下计量第2层上的以太网流量。目前还没有缺省的以太网比特率计量层，网络提供商硬件可在第1层或第2层计量以太网，也包括CRC字节。

## XII.5 令牌桶过滤器功能的描述

整形器和监管器限制流量速率。底层速率控制通常基于令牌桶过滤器。令牌桶过滤器通常工作如下：

- 以[比特/秒]为单位配置速率。
- 以[字节]配置*Burst-Tolerance\_Byte*。

理想的是，系统通常提供以[ms]为单位的*Burst-Tolerance\_ms*配置。预期将在系统内部分配以下缓冲区：

$$Burst-Tolerance\_Byte [byte] = Rate / 8 / Burst-Tolerance\_ms * 1000 \quad (4)$$

令牌桶监管器将每1/速率秒向桶中添加1比特令牌。如果桶由*Burst-Tolerance\_Byte*令牌来填充，则会抛弃额外的令牌。

当*Packet-Length*字节的分组到达时，过滤器检查对应于*Packet-Length*的令牌是否存在于桶中。

- 如果是，则转发分组，并从桶中删除*Packet-Length*字节。
- 如果不是，则抛弃分组，且桶保持不变（除非存在额外的整形器缓冲区；参见下面的注意）。

令牌桶整形器的操作类似于监管器，但它操作一个额外的缓冲区*Buffer\_bytes*。如果监管器丢弃分组，那么只要缓冲区不溢出，它就会存储在缓冲区中。一旦令牌桶过滤器中存在足够数量的令牌，存储在缓冲区中的第一个分组将被转发（部署给定的先进先出调度）。

如果整形器缓冲区已被到达的分组完全消耗，则任何额外的分组都将被丢弃。

注意：整形器有一个额外的缓冲区，可以在*Buffer\_ms* [ms]或多个分组中配置，并且当系统向分组缓冲区分配字节时，通常会假设一个平均分组大小。同样，所配置的速率用于计算系统内部缓冲区深度*Buffer\_bytes*，如（1）所示。



## 附录XIII

### 基于IP的流量相关参数和测量方法

(此附录非本建议书不可分割的组成部分。)

#### XIII.1 背景

IETF已于2018年3月批准并发布RFC 8337 “基于模型的块传输容量指标” [IETF RFC 8337]。基于模型的指标 (MBM) 工作是多年来考虑传输容量测量问题的结果, 主要在IETF IP性能指标 (IPPM) 工作组中。该规范仔细描述了当使用符合标准的TCP进行测试时的许多可重复性问题和困难 (第4节), 并主要通过设计一种方法和一组诊断测试来解决这些问题, 当中TCP的流量控制被禁用。该方法涉及根据传输速率和往返时间 (RTT) 评估目标传输性能。

对MBM的评估开始于RFC颁布之前。在论文“改进的互联网速度测试可提高QoS和QoE”中, Morton研究了多种测量方法, 以在利用现有互联网测量技术确定诸多精度问题并开始解决这些问题的背景下, 来评估MBM模型框架。

#### XIII.2 为什么MBM符合本建议书的要求

第6.12节提供了一套要求, 作为互联网共享资源背景下的合理参与者, 任何与流量相关的测量方法都必须满足这些要求。如下所述, MBM符合这些要求 (有关术语和定义, 请参考[IETF RFC 8337]第3节)。

所有流量或吞吐量相关的参数都应满足以下编号要求:

- 1) 表征提供给IP业务的吞吐量的参数应将IP网络或段成功传输的IP分组的数量与传送到该网络或段的IP分组的数量相关联。

发送的分组数量 (“传送到该网络或段”) 完全通过测试流的选择来控制。此外, 在MBM方法中直接对IP分组的“成功传输”进行测量 (以便导出丢失率和测量游程长度)。

- 2) 与吞吐量相关的参数应适用于端到端的IP网络以及跨EL、NS或NSE的IP传输。

MBM指标和测量被设计成与有利位置无关, 因此适用于EL、NS或NSE测试路径 (满足其他几个关键要求, 参见[IETF RFC 8337]第4.3节)。

本建议书的进一步要求如下所列, 并对MBM合规性进行了分析:

一些与流量或吞吐量相关的参数试图表征一个IP网络的吞吐量, 即它维持给定IP分组传输速率的能力。建议任何此类参数都应满足以下附加要求:

- 1) 应对提供给IP网络或段的流量样式进行描述, 因为IP网络或段成功传送这些分组的能力取决于该流量样式。

流量样式 (“提供给IP网络或段”) 始终通过测试流的选择来控制 (符合指定的测试参数)。

- 2) 提供流量的速率不应超过连接受测试段和非受测试目的段的链路容量 (以比特/秒为单位)。

在测试流和target\_rate MBM模型参数的约束条件下来选择和提供所提供的流量样式。

- 3) 在任何关于吞吐量性能的单声声明中, 都应该声明所考虑的IP分组的类型。

IETF IP性能指标（IPPM）框架[b-IETF RFC 2330]（用于指导所有指标开发和按照其规范进行的测量）对指定分组细节做出了明确要求；参见第13节，p型分组。注意：该节目前正在更新，以包括IPv6要求和其他最新发展。

注意：附录IX描述了使用符合标准的TCP的测量如何不符合第6.12节的要求。

### XIII.3 MBM测量方法的作用和状况

MBM方法的作用是确定路径或子路径是否具有足够的性能来支持单个传输层连接的可靠字节流传输的目标速率。当评估路径或子路径是否具备特定应用所需的传输速率时，例如内容传送服务器与接入链路前端之间的子路径，该方法是有用的。另一方面，MBM方法的作用不在评估千兆比特速率下的IP容量。

本附录的其余部分描述了目前需要进一步研究的主题。需要额外的实验室和现场评估。

### XIII.4 测试流选择

[IETF RFC 8337]第6节提出了几种不同的测试流设计，可以选择它们作为目标IP诊断套件（TIDS）的一部分。

第6.1节描述了**模拟TCP慢启动**（发生在每个TCP连接的开始）的流设计。关键流参数是（注意：目标值由服务订购和测试路径决定）：

- 分组中的突发大小（4，但也可以使用更小的大小）；
- target\_window\_size；
- target\_RTT；
- target\_data\_rate。

[IETF RFC 8337]表示：“.....在比target\_RTT长的时间尺度上，当突发大小等于target\_window\_size时，平均速率等于target\_data\_rate。”

第6.2节描述了**恒定窗口伪恒定比特率（CBR）流**的设计，以及与固定RTT相结合的整数分组大小的窗口可能导致所传送数据速率精确表示target\_data\_rate（操作反而稍微高于或低于target\_data\_rate）的问题，例如当RTT或目标数据速率小时。

同样，为流列出四个关键的流参数，以模拟TCP慢启动。

由于在该流中使用自计时，当RTT变化时，也可能出现target\_data\_rate的变化（TCP ACK到达决定发送速率，并且它们依赖于RTT）。意外的竞争流量会导致RTT变化（增加和减少）。

如[IETF RFC 8337]所建议，“传统的步调测量流量可能更适合这些环境”，在这些环境中，target\_data\_rate无法匹配或者RTT/自计时存在问题。**伪CBR流量**可能仍然包含突发，但在整个测试过程中，它会以target\_data\_rate进行发送。

上述伪CBR流量流用于基本数据速率评估，例如，支持[IETF RFC 8337]第8.1.2节中的测试。

注意：描述所扫描窗口伪CBR流生成的第6.3节增加了复杂性，以获得更真实的网络条件响应，并留到此时做进一步研究。

### XIII.5 测量点

[b-IETF RFC 7398]为常用的性能指标定义了参考路径和测量点。其他类似的测量项目也可以使用此处描述的扩展来定位测量点。[b-IETF RFC 7398]的目的是创建一种有效的方法来描述用于进行特定测量的测量点的位置，特别是在测量包括受管理和非受管理（专用网络）子路径时指出来。

注意：由[b-IETF RFC 7398]测量点界定的测量路径决定了订购参数的适用性，例如，所提供的典型数据速率，以及订购参数是否告知选择MBM参数，如target\_data\_rate。

下图显示了非重叠测量的两个范围：接入范围和分配范围。

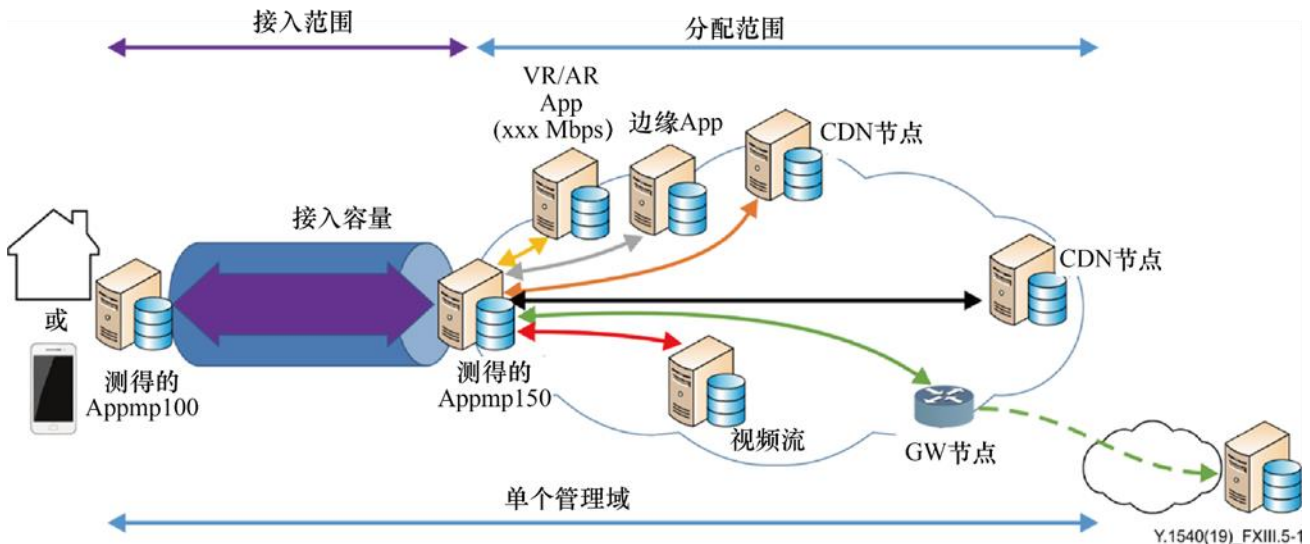


图 XIII.5-1 – 对接入和分配的单独测量

在[b-IETF RFC 7398]中，访问范围存在于mp100与mp150之间，这是附件A中基于UDP的IP容量度量和方法的预期范围。

另一方面，分配范围存在于[b-IETF RFC 7398] mp150与mp190之间，这是基于MBM的target\_data\_rate评估方法（边缘主机之间或分配范围内）在进一步细化时的预期应用。

### XIII.6 目标模型参数规范

参见[IETF RFC 8337]的第5.1节和第5.2节。

### XIII.7 设定验收标准并解释结果

参见[IETF RFC 8337]的第7.1节和第7.2节。

### XIII.8 测试方法

[b-IETF RFC 6673]和[MortonPQS]注意到了许多重复测试的使用。单一测试并不构成对任何预期按需提供的订阅服务的准确评估，但当结果证实预期时，可能足以用于简单的验证目的。

### XIII.9 示例

参见[IETF RFC 8337]的第9节。

## 参考文献

- [b-ITU-T I.353] ITU-T I.353建议书（1996年），用于定义ISDN和B-ISDN性能参数的参考事件。
- [b-ITU-T I.356] ITU-T I.356建议书（2000年），B-ISDN ATM层信元传输性能。
- [b-ITU-T P.800] ITU-T P.800建议书（1996年），质量客观与主观测定方法。
- [b-ITU-T X.25] ITU-T X.25建议书（1996年），数据终端设备（DTE）与数据电路终结设备（DCE）之间的接口，用于工作于分组模式并通过专用电路连接于公共数据网的终端。
- [b-ITU-T X.75] ITU-T X.75建议书（1996年），公用网络间提供数据传输服务的分组交换信令系统。
- [b-ITU-T X.137] ITU-T X.137建议书（1997年），公众数据网络在提供国际分组交换业务时的可用性指标。
- [b-ITU-T Y.1221] ITU-T X.1221建议书（2010年），IP网络中的业务控制和拥塞控制。
- [b-IETF RFC 768] IETF RFC 768 (1980), *User Datagram Protocol*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt>>
- [b-IETF RFC 792] IETF RFC 792 (1981), *Internet Control Message Protocol*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc792.txt>>
- [b-IETF RFC 793] IETF RFC 793 (1981), *Transmission Control Protocol*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>>
- [b-IETF RFC 919] IETF RFC 919 (1984), *Broadcasting Internet Datagrams*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc919.txt>>
- [b-IETF RFC 922] IETF RFC 922 (1984), *Broadcasting Internet datagrams in the presence of subnets*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc922.txt>>
- [b-IETF RFC 950] IETF RFC 950 (1985), *Internet Standard Subnetting Procedure*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc950.txt>>
- [b-IETF RFC 959] IETF RFC 959 (1985), *File Transfer Protocol*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc959.txt>>
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt>>
- [b-IETF RFC 1786] IETF RFC 1786 (1995), *Representation of IP Routing Policies in a Routing Registry (ripe-81++)*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1786.txt>>
- [b-IETF RFC 1812] IETF RFC 1812 (1995), *Requirements for IP Version 4 Routers*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc1812.txt>>
- [b-IETF RFC 2018] IETF RFC 2018 (1996), *TCP Selective Acknowledgment Options*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2018.txt>>
- [b-IETF RFC 2330] IETF RFC 2330 (1998), *Framework for IP Performance Metrics*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2330.txt>>

- [b-IETF RFC 3148] IETF RFC 3148 (2001), *A Framework for Defining Empirical Bulk Transfer Capacity Metrics*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3148.txt>>
- [b-IETF RFC 3357] IETF RFC 3357 (2002), *One-way Loss Pattern Sample Metrics*. <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3357.txt>>
- [b-IETF RFC 3393] IETF RFC 3393 (2002), *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt>>
- [b-IETF RFC 3432] IETF RFC 3432 (2002), *Network performance measurement with periodic streams*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3432.txt>>
- [b-IETF RFC 3550] IETF RFC 3550 (2003), *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*.  
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>>
- [b-IETF RFC 6576] IETF RFC 6576 (2012), *IP Performance Metrics (IPPM) Standard Advancement Testing*.  
<<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6576.txt>>
- [b-IETF RFC 6673] IETF RFC 6673 (2012), *Round-Trip Packet Loss Metrics*.  
<<https://www.rfc-editor.org/info/rfc6673>>
- [b-IETF RFC 7398] IETF RFC 7398 (2015), *A Reference Path and Measurement Points for Large-Scale Measurement of Broadband Performance*.  
<<https://www.rfc-editor.org/info/rfc7398>>
- [b-BEREC] BoR (18) 32: TENDER SPECIFICATIONS, No BEREC/2018/01/OT Net Neutrality Measurement Tool, March 2018.
- [b-C-298] Kotanis, Irina (2015), *Proposals for E.802 Annex: minimum required of samples, statistical significance for benchmarking and quality trends evaluations and minimum required number of mobile agents, (with revisions)*, ASCOM, Switzerland.
- [b-CVST] Krueger, T. and M. Braun (2012), *R package: Fast Cross – Validation via Sequential Testing, version 0.1*.
- [b-Damjanovic] Damjanovic, Welzl et al. (2008), *Extending the TCP Steady-State Throughput Equation for Parallel TCP Flows*, University of Innsbruck, Budapest University of Technology.  
<<http://heim.ifi.uio.no/~michawe/research/publications/mulPadhye-TechnicalReport.pdf>>
- [b-Ekelin] Ekelin, S., Nilsson, M., Hartikainen, E., Johnsson, A., Mångs, J., Melander, B., Björkman, M. (2006), *Real-time measurement of end-to-end available bandwidth using kalman filtering*, IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, Vancouver, Canada.
- [b-Google-Police] "An Internet-Wide Analysis of Traffic Policing", Flach, Papageorge et al., University of Southern California and Google, 2016.
- [b-Lautenschlaeger] Lautenschlaeger, W. (2014), *A Deterministic TCP Bandwidth Sharing Model*, Bell-Labs Alcatel-Lucent  
<>
- [b-Montgomery] Montgomery, D. (1990), *Introduction to Statistical Quality Control – 2nd edition, ISBN 0-471-51988-X*.

- [b-Morton] Morton, Al (2013), *Improved Internet speed tests can enhance QoS and QoE*, Proceedings of the 4th International Workshop on Perceptual Quality of Systems (PQS 2013), Vienna, Austria.
- [b-Mou] Mou, M. (2017), *Evaluating a TCP Model-Based Network Performance Measurement Method*, Masters Thesis at MIT, June 2017. <<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/113177>>.
- [b-PAM-12] Oana Goga & Renata Teixeira (2012), *Speed Measurements of Residential Internet Access*, Passive and Active Measurements Conference, PAM-12. <<https://people.mpi-sws.org/~ogoga/papers/PAM12-speed.pdf>>
- [b-Pod12] OPNFV Project, Intel POD12. <<https://wiki.opnfv.org/display/pharos/Intel+POD12>>
- [b-Prasad] Prasad, R.S., Murray, M., Dovrolis, C., Claffy, K.C. (2003), *Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools*, IEEE Network.
- [b-QUIC] "draft-ietf-quic-recovery-11", Iyengar and Swett. work in progress, IETF 2018. <<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-quic-recovery/>>
- [b-Rdev] R Development Core Team (2016), *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <<http://www.r-project.org/>>
- [b-TST 009] ETSI GS NFV-TST 009 V3.1.1, (2018), *Network Functions Virtualisation (NFV) Release 3; Testing; Specification of Networking Benchmarks and Measurement Methods for NFVI*. <[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-TST/001\\_099/009/03.01.01\\_60/gs\\_NFV-TST009v030101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-TST/001_099/009/03.01.01_60/gs_NFV-TST009v030101p.pdf)> <[https://docbox.etsi.org/ISG/NFV/Open/Drafts/TST009\\_NFVI\\_Benchmarks](https://docbox.etsi.org/ISG/NFV/Open/Drafts/TST009_NFVI_Benchmarks)>
- [b-Wald] Wald, A. (1947), *Sequential Analysis*, Wiley



## ITU-T 系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
D系列	资费和会计原则以及国际电信/信息通信技术经济 and 政策问题
E系列	综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素
F系列	非话电信业务
G系列	传输系统和媒质、数字系统和网络
H系列	视听及多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线网络和电视、声音节目及其他多媒体信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	环境和信息通信技术、气候变化、电子废弃物、能源效率；电缆和外部设备其他组件的建造、安装和保护
M系列	电信管理，包括TMN和网络维护
N系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O系列	测量设备的技术规范
P系列	电话传输质量、电话安装、本地线路网络
Q系列	交换和信令以及相关的测量和测试
R系列	电报传输
S系列	电报业务终端设备
T系列	远程信息处理业务的终端设备
U系列	电报交换
V系列	电话网上的数据通信
X系列	数据网、开放系统通信和安全性
Y系列	全球信息基础设施、网际协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市
Z系列	用于电信系统的语言和一般软件问题