



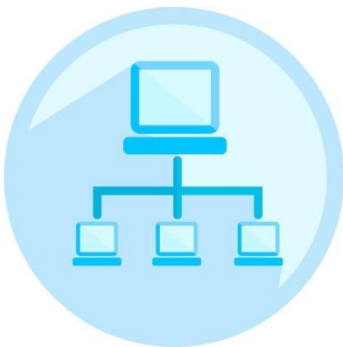
计算机网络



顾 军

计算机学院

jgu@cumt.edu.cn





专题4：数据包怎么在互联网中寻路和转发？

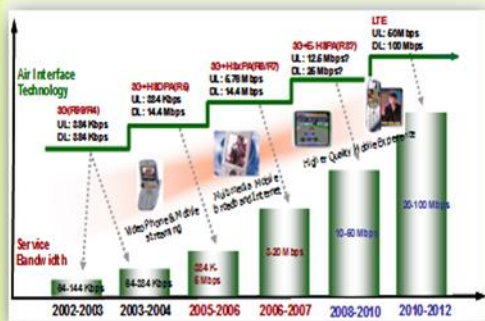


- 应用层(application layer)
- 运输层(transport layer)
- 网络层(network layer)
- 数据链路层(data link layer)
- 物理层(physical layer)





Q38: IP网络的未来在哪里?



- 更充足的IP地址空间
- 更优移动IP实现机制

移动
互联

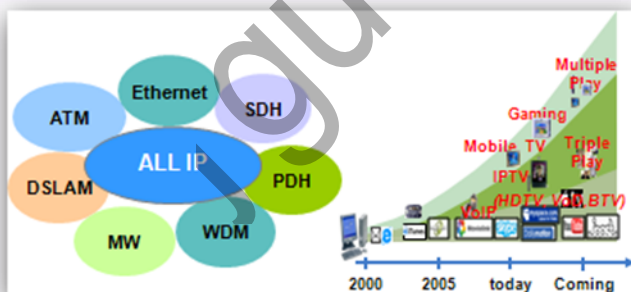
网络
趋势

信息
家电

网络融合



- 配置实现简单
- 提供安全保障



- 更高网络性能
- 完善QoS机制，服务质量差异化





全球的IPv4地址已经耗尽

- IPv4顶级地址（top-level）在2012年就已耗尽。所有IPv4地址空间已分配给全球五大区域互联网注册机构。
- 2011年4月15日，亚太区互联网注册机构([APNIC](#))分配了最后一个IPv4区块；
- 2014年6月10日，拉丁美洲和加勒比海区([LACNIC](#))分配了最后一个IPv4区块；
- 2015年9月24日，北美区([ARIN](#))分配了最后一个IPv4区块。
- 2019年11月25日，欧洲区([RIPE](#))也全部分配完毕。





[ncc-announce] [news] The RIPE NCC has run out of IPv4 Addresses

Nikolas Pediaditis



par ncc-announce

À : ncc-announce@ripe.net

25 nov. 2019 à 15:40

Dear colleagues,

Today, at 15:35 UTC+1 on 25 November 2019, we made our final /22 IPv4 allocation from the last remaining addresses in our available pool. We have now run out of IPv4 addresses.

Our announcement will not come as a surprise for network operators - IPv4 run-out has long been anticipated and planned for by the RIPE community. In fact, it is due to the community's responsible stewardship of these resources that we have been able to provide many thousands of new networks in our service region with /22 allocations after we reached our last /8 in 2012.

负责英国、欧洲、中东和部分中亚地区互联网资源分配的欧洲网络协调中心RIPE NCC在一封电子邮件中确认，UTC+1时间2019年11月25日15:35分（北京时间22:35分），RIPE NCC从可用池中的最后剩余地址进行了最终的分配。





中国发展受制于IPv4地址的短缺

现有IPv4地址已经远远不能满足中国互联网业务发展需求

地址资源

- 中国人均IPv4地址占有量为0.171个；
- 美国占有超过40% IPv4地址，人均5.336个

中国电信

- 电信仅拥有7千万IPv4地址；
- 未来5年需要地址40亿，用于家庭用户和物联网。

中国移动

- 移动拥有2千万IPv4地址；
- 移动互联网和3G大规模发展，未来地址需求超10亿

中国联通

- 联通拥有4.5千万IPv4地址；
- 移动互联网和3G的大规模发展，未来地址需求超6亿

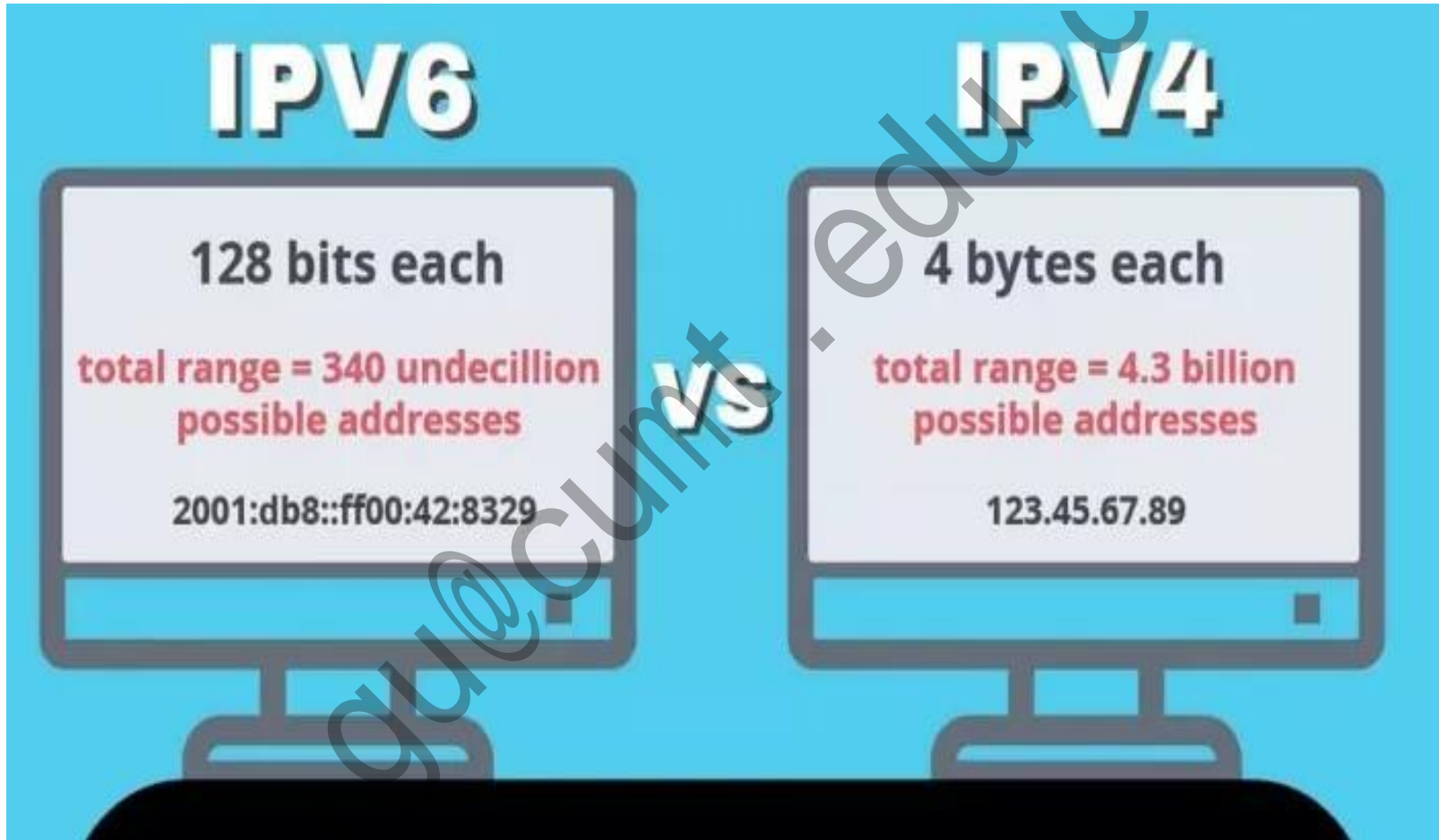
地址交易

- IPv4地址资源交易范围受限，仅限于APNIC成员之间；
- 仅盘活少量闲置IPv4地址





IPv6提供更大的地址空间





IPv6优势

- **2^{128} addresses**

= 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,770,000,000

如果一个地址重一克的话

IPv4地址空间相当于 $\frac{1}{76}$ 个帝国大厦 IPv6地址空间相当于56,713,727,820个地球

IPv4 = $\frac{1}{76}$



$\times 567 \text{ 亿} = \text{IPv6}$





IPv6性能改进

1

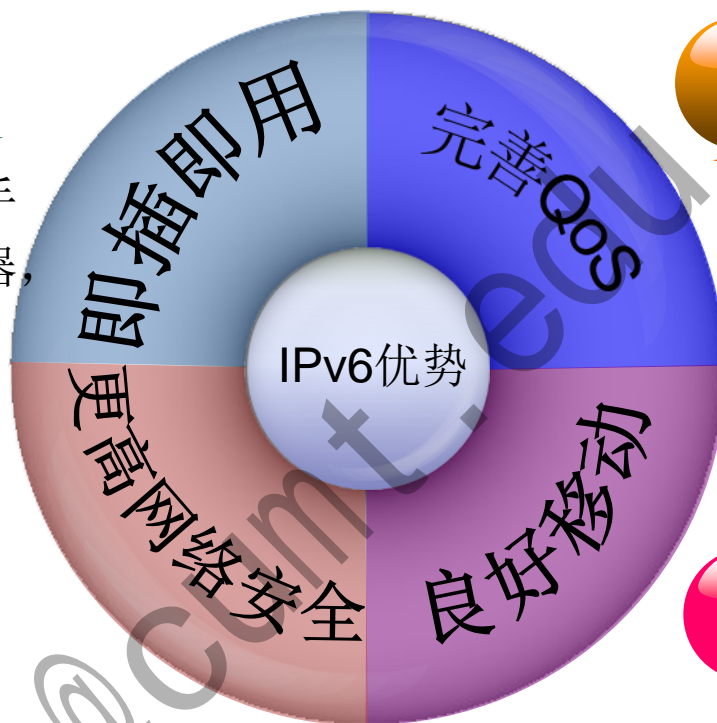
即插即用

- 无状态地址配置，无需手工配置或使用专用服务器，即插即用自动获取IPv6地址。

2

网络安全

- IPSec强制实现，提供数据机密性、数据完整性、数据源验证和防重放服务



3

完善QoS

- 流标签使基于流的QoS实现更简捷，有助于实时数据流的处理
- IPv6报头简化设计，提高QoS处理效率。

4

良好移动

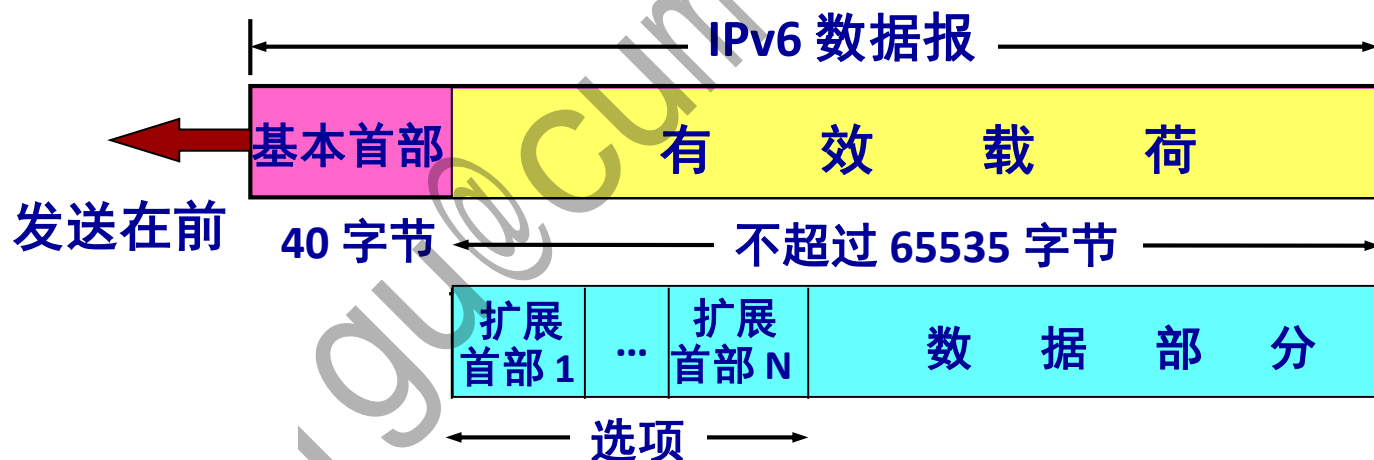
- MIPv6实现移动节点与通信对端通信路径一致
- 满足未来移动设备对地址空间的海量需求





Q39: IPv6数据报长啥样？

- IPv6数据报由两大部分组成：
 - 基本首部 (base header)。
 - 有效载荷 (payload)。有效载荷也称为净负荷。有效载荷允许有零个或多个扩展首部(extension header)，再后面是数据部分。

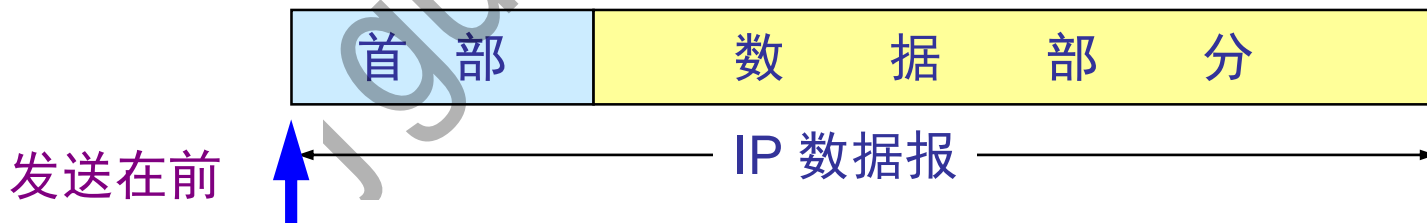


具有多个可选扩展首部的 IPv6 数据报的一般形式





IPv4 数据报的一般形式





IPv4与IPv6首部的比较



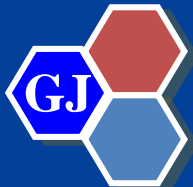


IPv6 数据报的基本首部

- IPv6 将首部长度的变为**固定的 40 字节**，称为**基本首部**。
- 把首部中不必要的功能取消了，使得 IPv6 首部的字段数减少到只有 8 个。
- IPv6 对首部中的某些字段进行了如下的**更改**:

- 取消了首部长度的字段，因为首部的长度是固定的 40 字节；
- 取消了服务类型字段；
- 取消了总长度字段，改用有效载荷长度字段；
- 取消了标识、标志和片偏移字段，含在分片扩展首部中；
- TTL 字段改称为跳数限制字段；

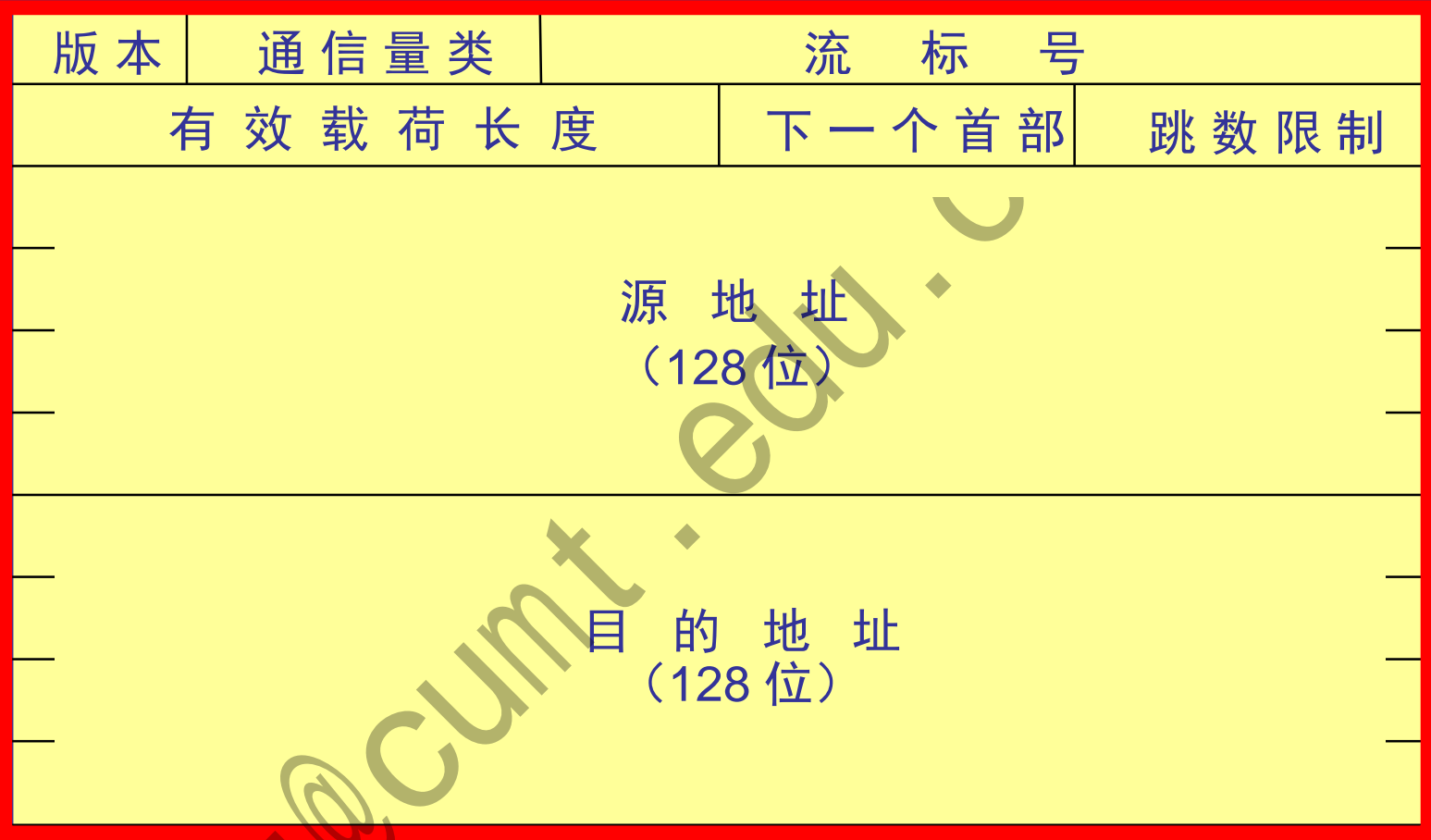
- 取消了协议字段，改用下一个首部字段；
- 取消了检验和字段
 - ✓ 加快路由器处理数据报的速度
 - ✓ 数据链路层、TCP、UDP 都有差错检测机制；
- 取消了选项字段，而用扩展首部来实现选项功能。



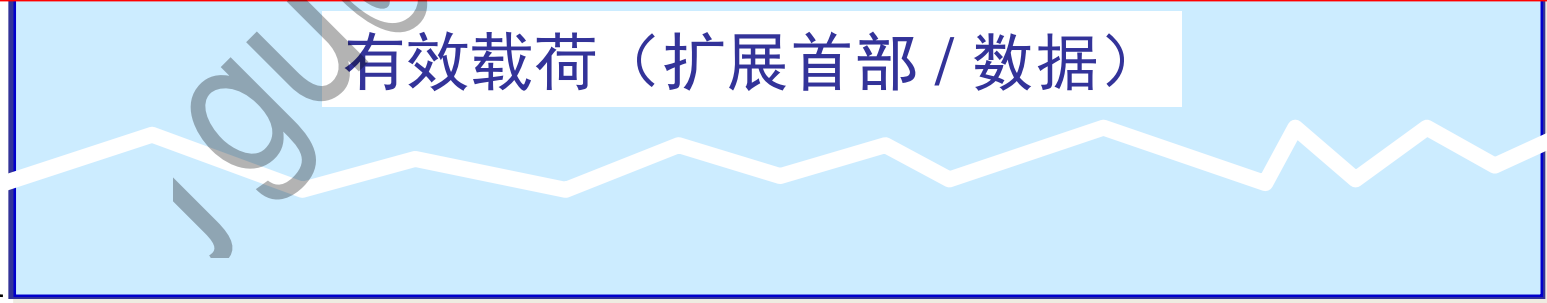
位

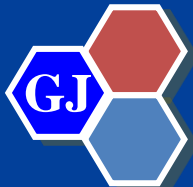
0 4 12 16 24 31

IPv6 的
基本首部
(40 B)



IPv6 的
有效载荷
(至 64 KB)



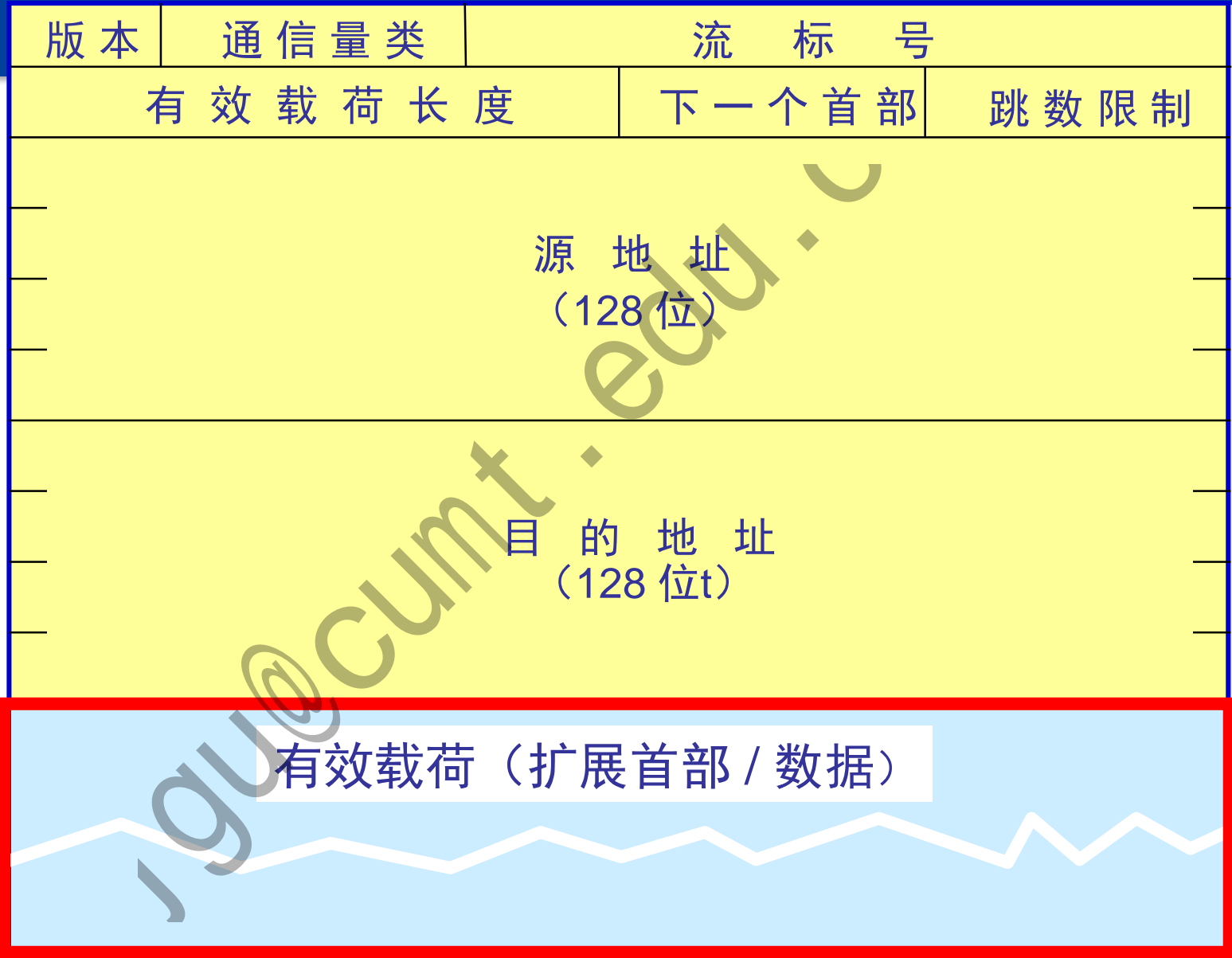


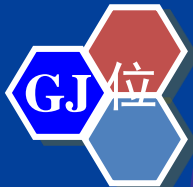
位

0 4 12 16 24 31

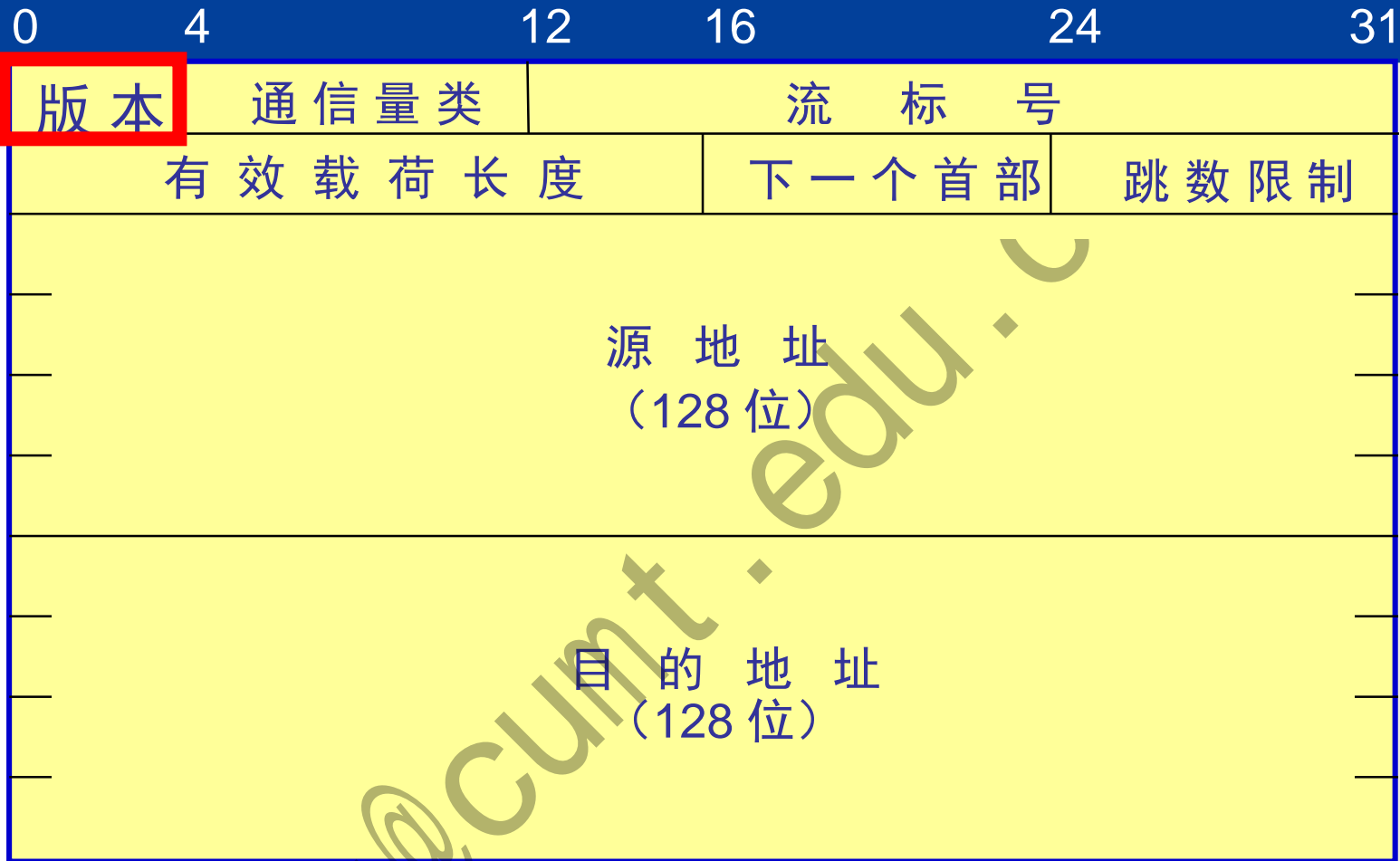
IPv6 的
基本首部
(40 B)

IPv6 的
有效载荷
(至 64 KB)





IPv6
的基本首部
40 B

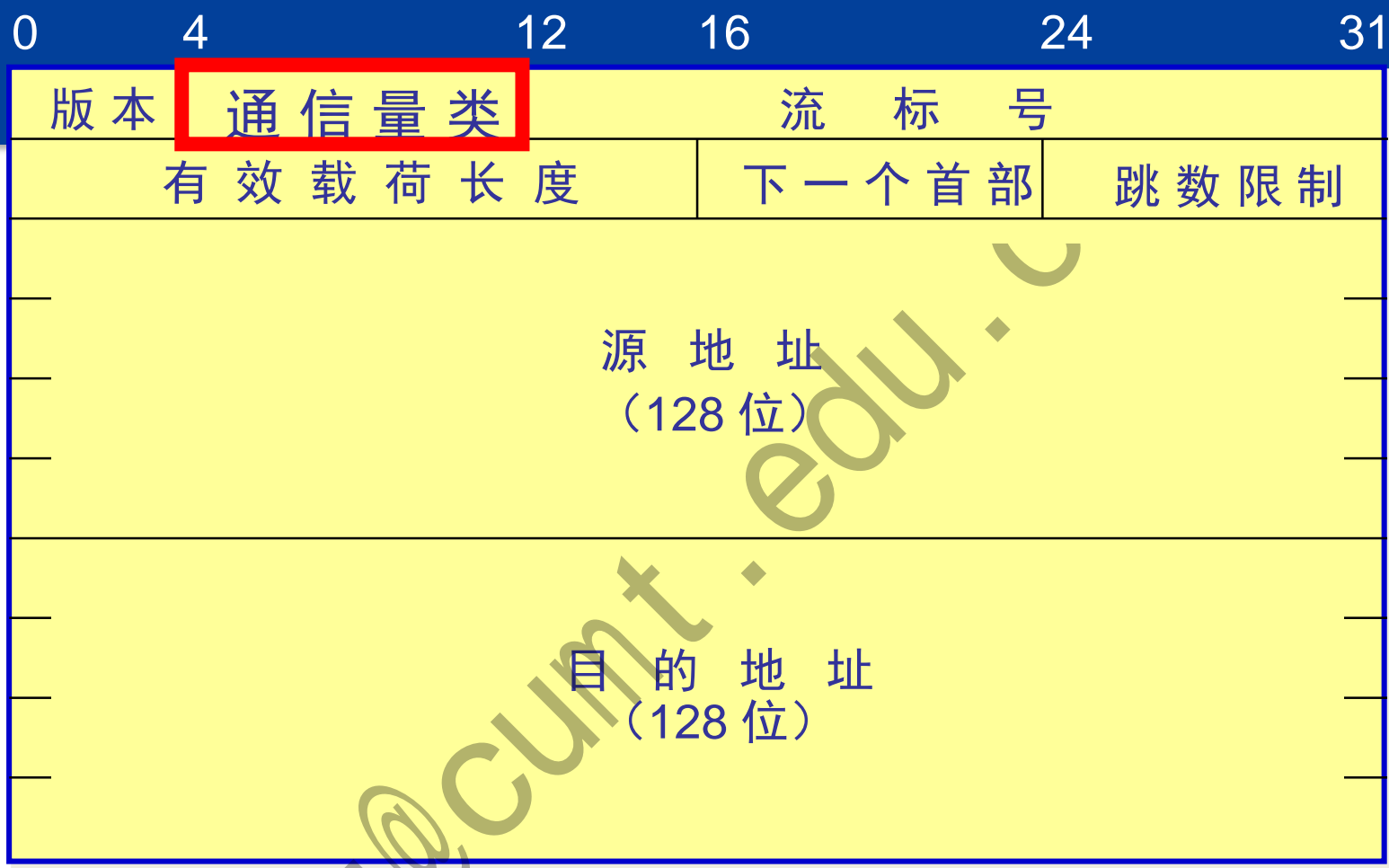


版本(version)—— 4 位。它指明了协议的版本，对 IPv6 该字段总是 6。



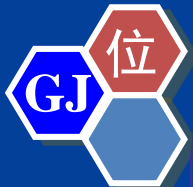


IPv6
的基本首部
40 B

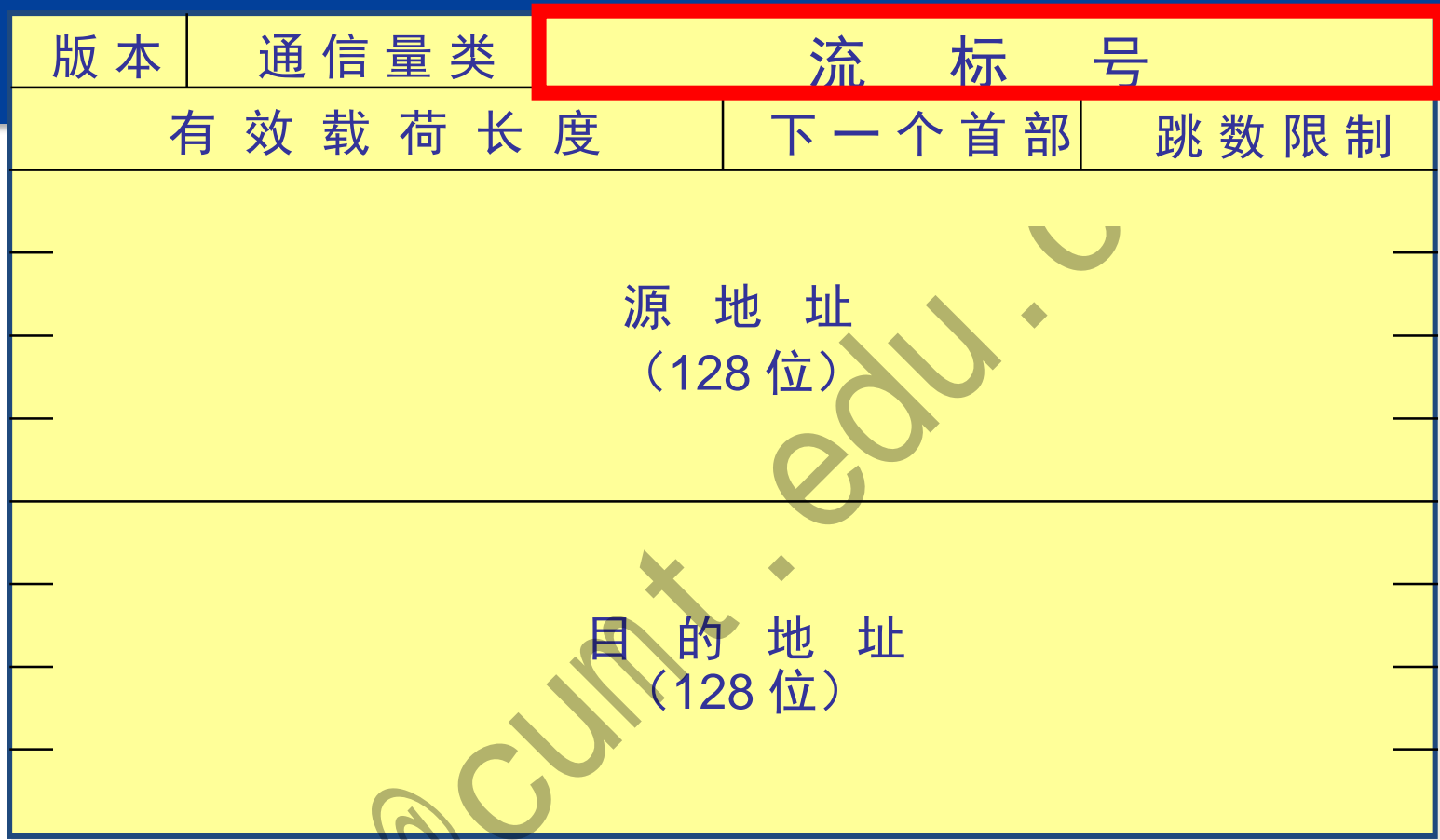


通信量类(traffic class)—— 8 位。这是为了区分不同的 IPv6 数据报的类别或优先级。目前正在进行不同的通信量类性能的实验。





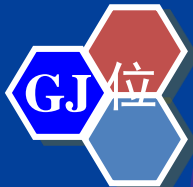
0 4 12 16 24 31



IPv6
的
基
本
首
部
40 B

流标号(flow label)—— 20 位。 “流” 是互联网络上从特定源点到特定终点的一系列数据报， “流” 所经过的路径上的路由器都保证指明的服务质量。
所有属于同一个流的数据报都具有同样的流标号。





0 4 12 16 24 31

版本	通信量类	流 标 号	
有效载荷长度		下一个首部	跳数限制
源 地 址 (128 位)			
目 的 地 址 (128 位)			

IPv6
的
基本
首部
40 B

有效载荷长度(payload length)—— 16 位。它指明 IPv6 数据报除基本首部以外的字节数（所有扩展首部都算在有效载荷之内），其最大值是 64 KB。





0 4 12 16 24 31

版本	通信量类	流 标 号	
有效 载 荷 长 度		下一个首部	跳 数 限 制
源 地 址 (128 位)			
目 的 地 址 (128 位)			

IPv6
的
基
本
首
部
40 B

下一个首部(next header)—— 8 位。它相当于 IPv4 的
协议字段或可选字段。





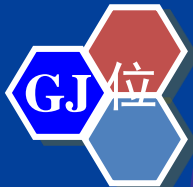
0 4 12 16 24 31

版本	通信量类	流标号
有效载荷长度		下一个首部
		跳数限制
源地址 (128 位)		
目的地地址 (128 位)		

IPv6
的基本首部
40 B

跳数限制(hop limit)—— 8 位。源站在数据报发出时即设定跳数限制。路由器在转发数据报时将跳数限制字段中的值减1。
当跳数限制的值为零时，就要将此数据报丢弃。





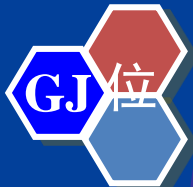
0 4 12 16 24 31

版 本	通 信 量 类	流 标 号	
有 效 载 荷 长 度		下 一 个 首 部	跳 数 限 制
源 地 址 (128 位)			
目 的 地 址 (128 位)			

IPv6
的
基
本
首
部
40 B

源地址—— 128 位。是数据报的发送站的 IP 地址。





0 4 12 16 24 31



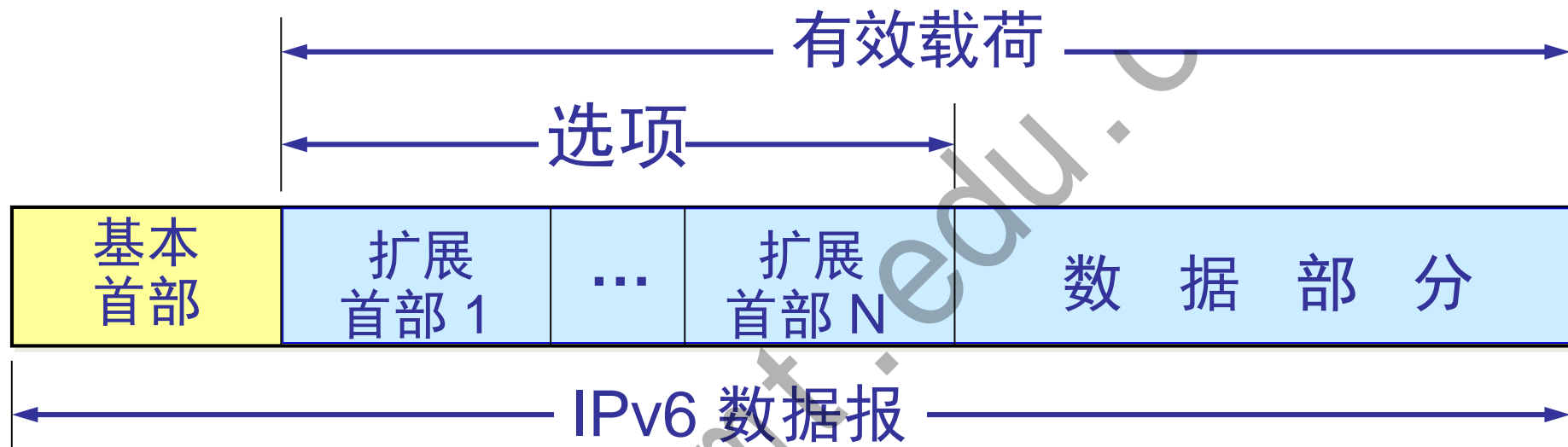
IPv6
的
基
本
首
部
40 B

目的地址——128 位。是数据报的接收站的 IP 地址。





IPv6 的扩展首部



- IPv6 把原来 IPv4 首部中选项的功能都放在扩展首部中，并将扩展首部留给路径两端的源站和目的站的主机来处理。





六种扩展首部

在 RFC 2460 中定义了**六种扩展首部**:

- (1) 逐跳选项: 定义了转发路径中每个路由器节点需要处理的信息
- (2) 目的站选项: 目的节点需要处理的信息
- (3) 路由选择: 记录转发路径上路由节点的信息
- (4) 分片: 发送大于MTU的包, 但只在源节点进行数据的分片
- (5) 鉴别: 身份认证, 确保数据来源于可信任的源点
- (6) 封装安全有效载荷: 有效避免在数据传输过程中被窃听、抓取内容等行为





六种扩展首部

在 RFC 2460 中定义了**六种扩展首部**:

- (1) 逐跳选项
- (2) 路由选择
- (3) 分片
- (4) 鉴别
- (5) 封装安全有效载荷
- (6) 目的站选项

每一个扩展首部都由若干个字段组成，它们的长度也各不相同。但所有扩展首部的第一个字段都是8位的“下一个首部”字段。此字段的值指出了在该扩展首部后面的字段是什么。

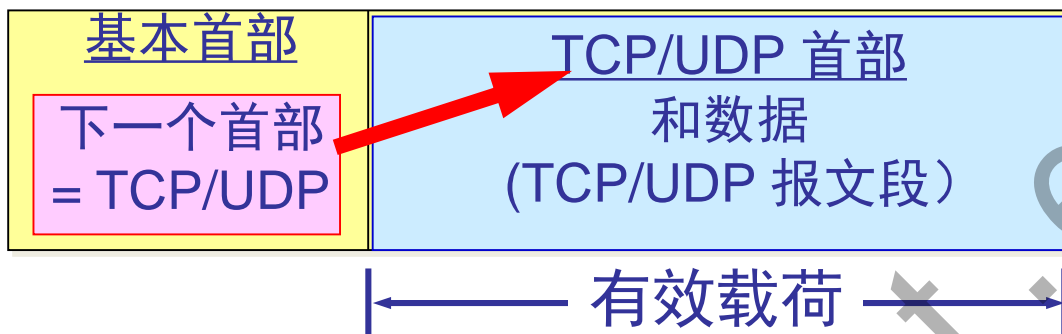
数据报途中经过的路由器都不处理这些扩展首部（只有一个首部例外，即逐跳选项扩展首部），可以大大提高了路由器的处理效率。



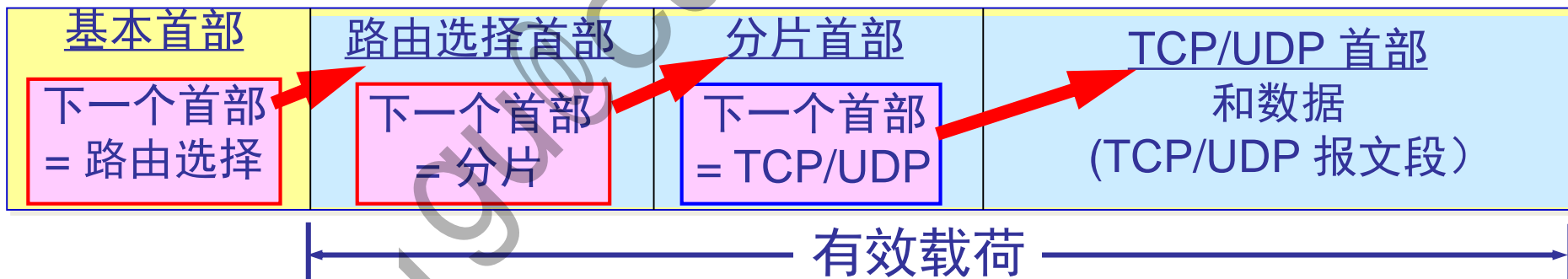


IPv6 的扩展首部

无扩展首部



有扩展首部





Q40: IPv6的地址空间如何分配?

IPv6 数据报的目的地址可以是以下三种基本类型地址之一:

- (1) 单播(unicast): 传统的点对点通信。
- (2) 多播(multicast): 一点对多点的通信。
- (3) 任播(anycast): 这是 IPv6 增加的一种类型。
任播的目的站是一组计算机, 但数据报在交付时只交付其中的一个, 通常是距离最近的一个。





结点与接口

- IPv6 将实现 IPv6 的主机和路由器均称为**结点**。
- 一个结点就可能可能有多个与链路相连的接口。
- IPv6 地址是分配给结点上面的接口。
 - 一个接口可以有多个单播地址。
 - 其中的任何一个地址都可以当作到达该结点的目的地址。即**一个结点接口的单播地址可用来唯一地标志该结点。**





冒号十六进制记法 (colon hexadecimal notation)

- 在IPv6中，每个地址占 128 位，地址空间大于 3.4×10^{38} 。
- 为了使地址再稍简洁些，IPv6 使用**冒号十六进制记法**(colon hexadecimal notation, 简写为colon hex)。
- 每个 16 位的值用十六进制值表示，各值之间用冒号分隔。例如：

68E6:8C64:FFFF:FFFF:0:1180:960A:FFFF





零压缩(Zero Compression)

- **零压缩**(zero compression), 即一连串连续的零可以为一对冒号所取代。例如:

FF05:0:0:0:0:0:0:0:B3 可以写成: FF05::B3

- 注意: 在任一地址中**只能使用一次零压缩**。





点分十进制记法的后缀

- 冒号十六进制记法可结合使用点分十进制记法的后缀，这种结合在 IPv4 向 IPv6 的转换阶段特别有用。
 - 例如：0:0:0:0:0:0:128.10.2.1
再使用零压缩即可得出： ::128.10.2.1





CIDR 的斜线表示法仍然可用

- CIDR 的斜线表示法仍然可用。
 - 例如：60 位的前缀 12AB00000000CD3 可记为：
12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60
或 12AB::CD30:0:0:0:0:0/60 （零压缩）
或 12AB:0:0:CD30::/60 （零压缩）





IPv6 地址分类

地址类型	二进制前缀
未指明地址	00...0 (128位), 可记为 ::/128。
环回地址	00...1 (128位), 可记为 ::1/128。
多播地址	11111111 (8位), 可记为 FF00::/8。
本地链路单播地址	1111111010 (10位), 可记为 FE80::/10。
全球单播地址	(除上述四种外, 所有其他的二进制前缀)





IPv6 地址分类

□ 全球单播地址

- IPv6 的这一类单播地址是使用得最多的一类。
- 曾提出多种方案进一步划分这128位的单播地址。
- 根据2006年发布的草案标准RFC 4291的建议，IPv6 单播地址的划分方法非常灵活，可以是以下任何一种。



IPv6 单播地址的几种划分方法





Q41: IPv6数据报交付出错怎么办?

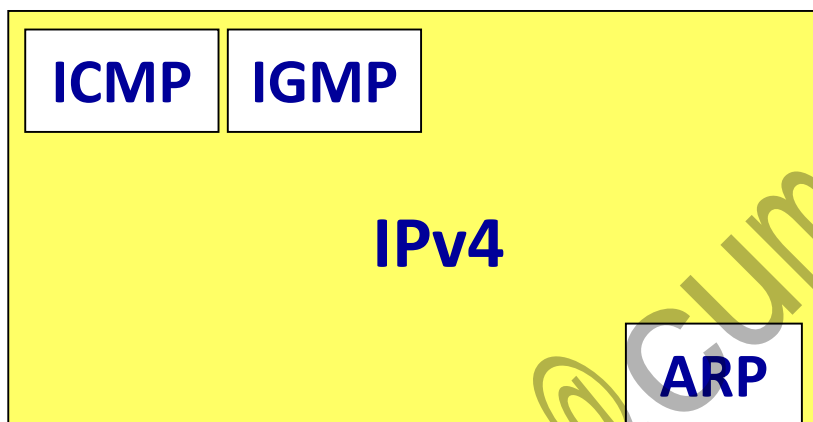
- IPv6 也不保证数据报的可靠交付，因为互联网中的路由器可能会丢弃数据报。
- 因此 IPv6 也需要使用 ICMP 来反馈一些差错信息。新的版本称为 ICMPv6。



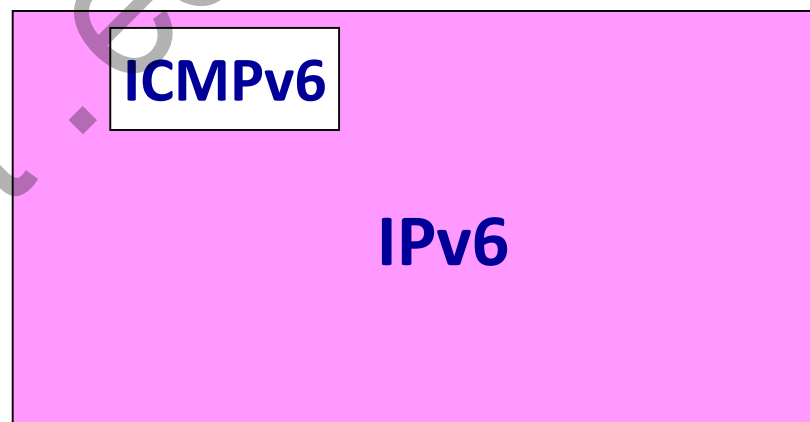


ICMPv6

- 地址解析协议 **ARP** 和网际组管理协议 **IGMP** 协议的功能都已被合并到 **ICMPv6** 中。



版本 4 中的网络层



版本 6 中的网络层

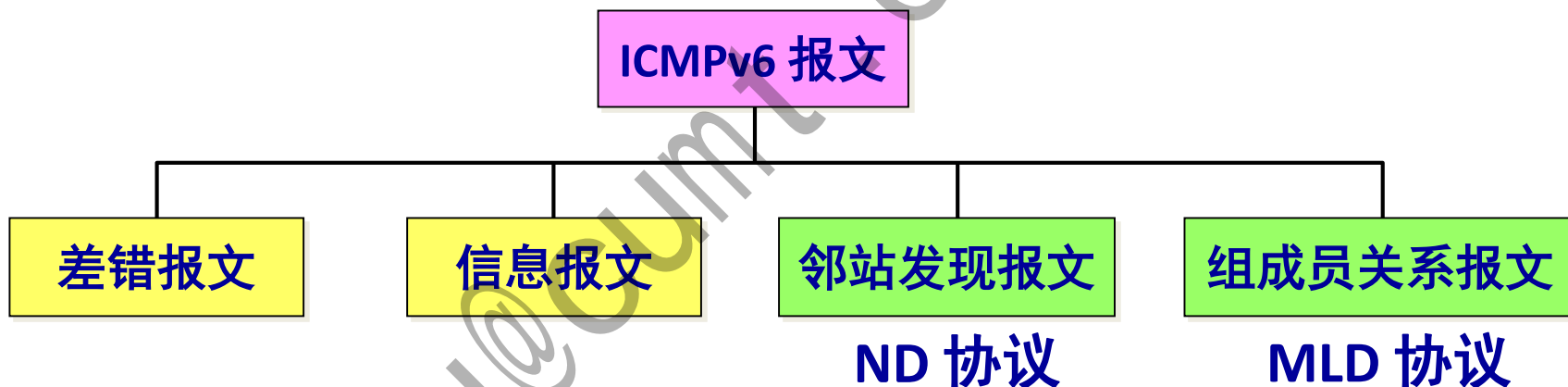
新旧版本中的网络层的比较





ICMPv6 报文的分类

- ICMPv6 是面向报文的协议，它利用报文来报告差错，获取信息，探测邻站或管理多播通信。
- ICMPv6 还增加了几个定义报文的功能及含义的其他协议。



ND (Neighbor-Discovery): 邻站发现

MLD (Multicast Listener Delivery): 多播听众交付

ICMPv6 报文的分类





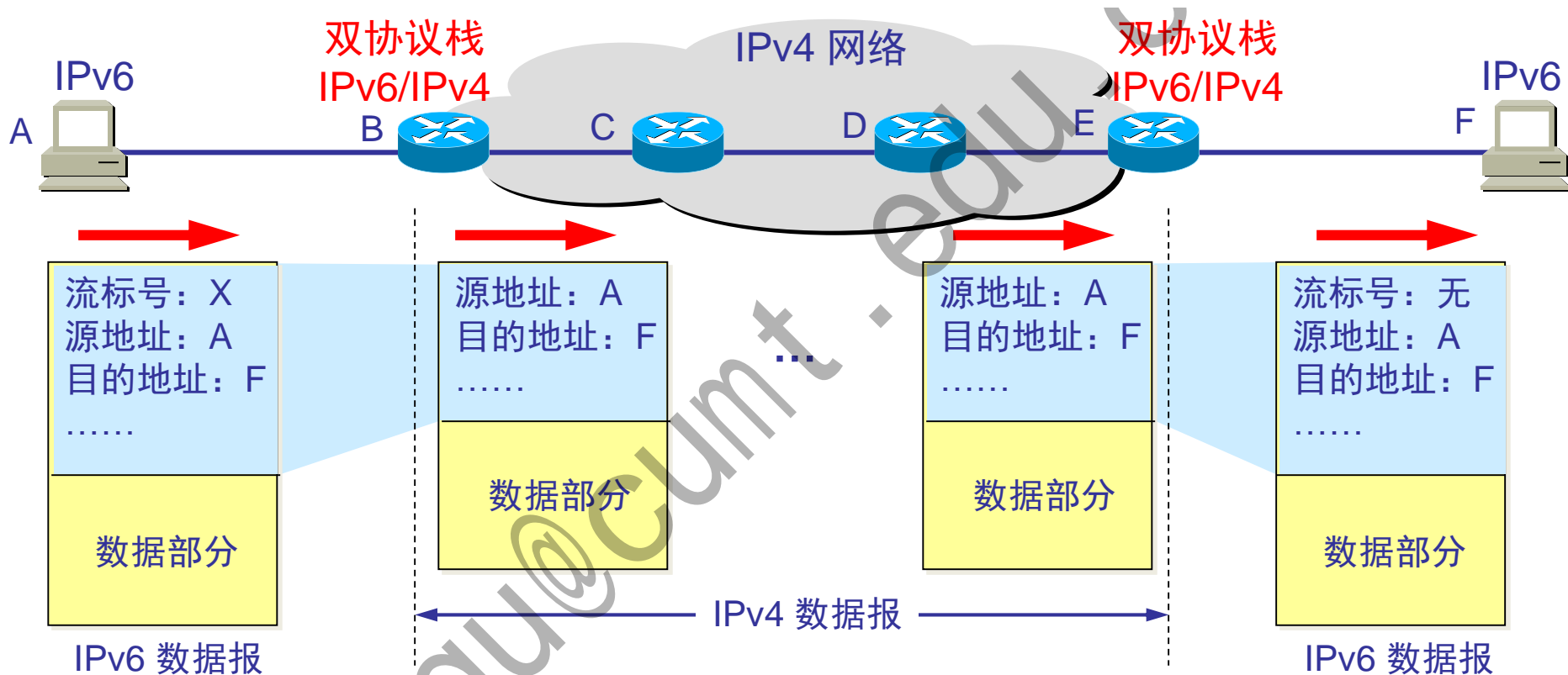
Q42: IPv4如何向IPv6过渡?

- 向 IPv6 过渡只能采用逐步演进的办法，同时，还必须使新安装的 IPv6 系统能够向后兼容：
 - IPv6 系统必须能够接收和转发 IPv4 分组，并且能够为 IPv4 分组选择路由。
- 两种向 IPv6 过渡的策略：
 - 使用双协议栈
 - 使用隧道技术





用双协议栈进行从IPv4到IPv6的过渡

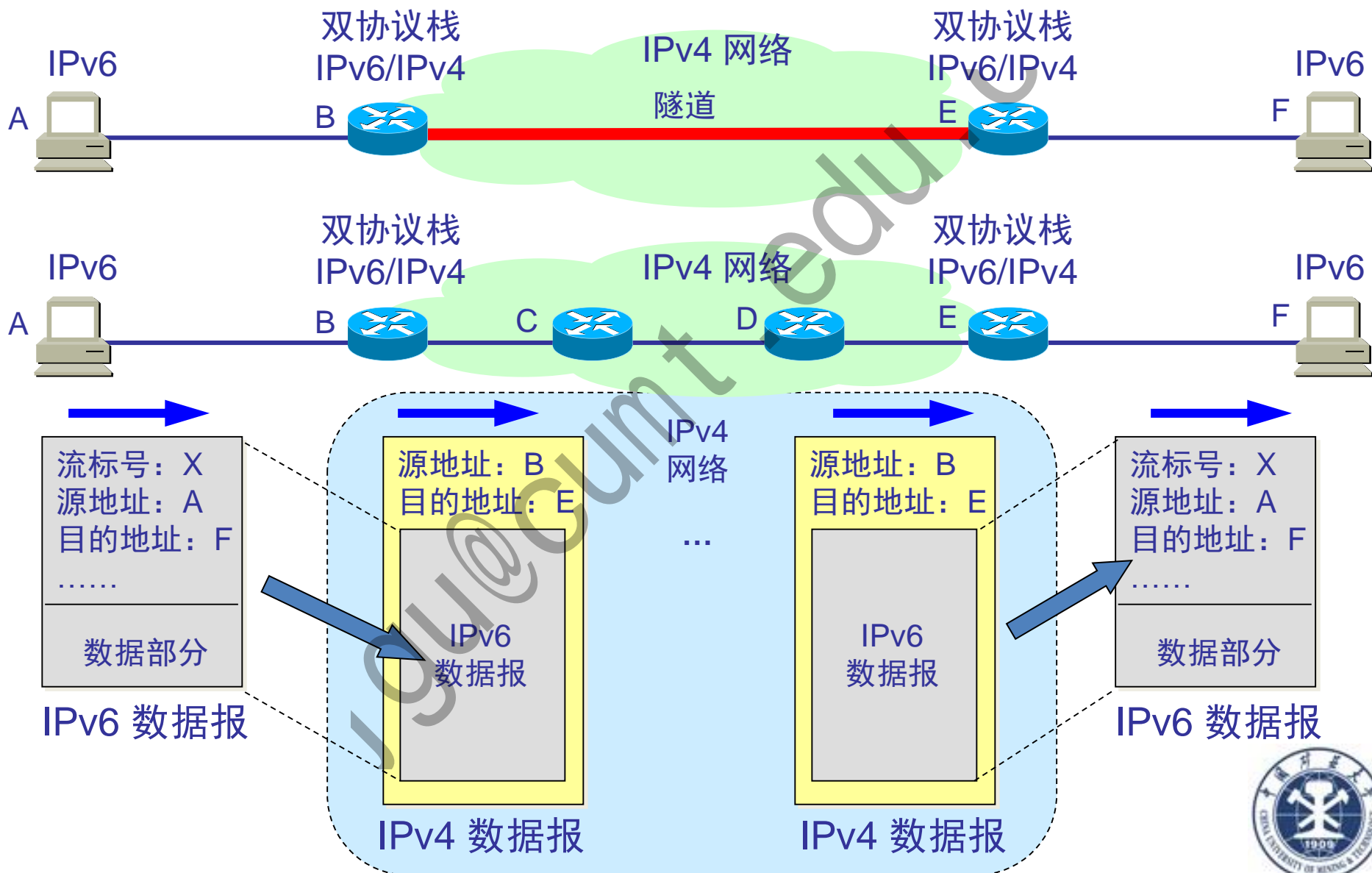


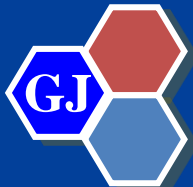
用双协议栈进行从IPv4到IPv6的过渡





使用隧道技术从 IPv4 到 IPv6 过渡





中办国办印发《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》



中华人民共和国中央人民政府
www.gov.cn

消息 网站 手机 微信 微博 简 繁 | EN | 注册 | 登录



国务院

总理

新闻

政策

互动

服务

数据

国情

首页 > 政策 > 中央有关文件

中共中央办公厅 国务院办公厅印发《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》

2017-11-26 17:46 来源：新华社

【字体：大 中 小】 打印 分享 收藏

新华社北京11月26日电 近日，中共中央办公厅，国务院办公厅印发了《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》，并发出通知，要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。

《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》全文如下。

为贯彻落实党中央、国务院关于建设网络强国的战略部署，加快推进基于互联网协议第六版（IPv6）的下一代互联网规模部署（以下简称IPv6规模部署），促进互联网演进升级和健康创新发展，根据《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《国家信息化发展战略纲要》、《“十三五”国家信息化规划》，制定本行动计划。

一、重要意义





中办国办印发《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》

- 2017年11月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《推进互联网协议第六版（IPv6）规模部署行动计划》，并发出通知，要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。
- 用5到10年时间，形成下一代互联网自主技术体系和产业生态，建成全球最大规模的IPv6商业应用网络，实现下一代互联网在经济社会各领域深度融合应用，成为全球下一代互联网发展的重要主导力量。

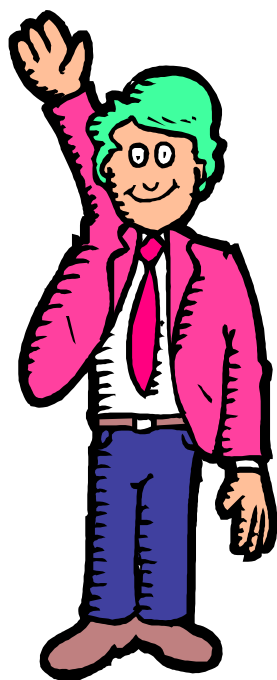




中国的IPv6布局成果

- 中国信息通信研究院CAICT于2019年9月曾发布数据称，截至2019年5月，中国IPv6活跃用户数达**3.11亿**。
 - 在**视频应用**方面，爱奇艺活跃用户达1.78亿，优酷活跃用户达1.20亿，腾讯视频活跃用户达6000万。
 - 在**购物应用**方面，天猫淘宝活跃用户达1.5亿，京东商城活跃用户达2300万，小米商城活跃用户达540万，美团点评活跃用户达7000万。





**THANK
YOU!**

