

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

Y.2615

(07/2012)

Y系列：全球信息基础设施、互联网的协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市

下一代网络 – 基于分组的网络

公众分组电信数据网的路由机制

ITU-T Y.2615建议书

ITU-T



ITU-T Y系列建议书

Y 系列：全球信息基础设施、互联网的协议问题、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
互联网的协议问题	
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
服务质量和网络性能	Y.1500–Y.1599
信令	Y.1600–Y.1699
运营、管理和维护	Y.1700–Y.1799
计费	Y.1800–Y.1899
经NGN的IPTV	Y.1900–Y.1999
下一代网络	
框架和功能体系模型	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中业务和网络的可操作性	Y.2250–Y.2299
编号、命名和寻址	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

如果需要进一步了解细目，请查阅ITU-T建议书清单。

ITU-T Y.2615建议书

公众分组电信数据网的路由机制

摘要

作为可满足未来基于分组的网络（FPBN）要求的一种分级分组数据网络，公共分组电信数据网络（PTDN）提供了一种高效且可靠的路由机制的解决方案。ITU-T Y.2615建议书说明了PTDN路由架构、路由模式和对应的路由机制，如拓扑结构、域内路由、域间路由和路由程序等。

沿革

版本	建议书	批准	研究组	唯一识别码*
1.0	ITU-T Y.2615	2012-07-29	13	11.1002/1000/11703

关键词

替代路由、双路径路由、PTDN、路由架构、最短路径路由。

* 访问建议书，请在您的Web浏览器地址栏中输入网址<http://handle.itu.int/>，其次建议书的识别码，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、信息和通信技术（ICT）领域工作的联合国专门机构。国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T）是国际电信联盟的常设机构，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，发表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，再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）和国际电工技术委员会（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，又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，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它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申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联未收到实施本建议书可能需要的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，这可能并非最新信息，因此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 2019

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	参考文献	1
3	定义	1
	3.1 其他地方定义的术语	1
	3.2 本建议书定义的术语	2
4	缩略语和首字母缩略词	2
5	路由架构	3
	5.1 域内路由机制	3
	5.2 域间路由机制	4
6	路由模式	4
	6.1 最短路径路由模式	4
	6.2 双路径路由模式	5
	6.3 替代路由模式	5
7	最短路径路由模式	5
	7.1 拓扑的构建	5
	7.2 域内路由	6
	7.3 域间路由	6
8	双路径路由模式	6
	8.1 拓扑的构建	6
	8.2 域内路由	6
	8.3 域间路由	7
9	替代路由模式	7
	9.1 拓扑的构建	7
	9.2 域内路由	7
	9.3 域间路由	8
10	路由程序	8
11	安全考虑	9
	11.1 控制平面的安全保障	9
	11.2 网络连接的安全保障	9
附件A	– 双路径路由模式的路径计算	10
	A.1 保护路径的构建	10

A.2	耳分解	10
A.3	ST编号的生成	11
A.4	保护路径的构建	11
A.5	链路状态数据库的构建	12
A.6	转发表	14
	参考书.....	15

ITU-T Y.2615建议书

公众分组电信数据网的路由机制

1 范围

本建议书说明了公众分组电信数据网络（PTDN）的路由机制，包括路由架构、路由模式和对应的路由机制，如拓扑构建、域内路由、域间路由以及路由程序等。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其他参考文献的条款，在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。在本建议书出版时，所指出的版本是有效的。所有的建议书和其他参考文献均会得到修订，本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其他参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

[ITU-T Y.2601] ITU-T Y.2601建议书（2006） – 未来基于分组的网络的基本特性与要求。

[ITU-T Y.2611] ITU-T Y.2611建议书（2006） – 未来基于分组的网络的高层架构。

[ITU-T Y.2612] ITU-T Y.2612建议书（2009） – 未来基于分组的网络的寻址、路由和转发方面的通用要求和框架。

[ITU-T Y.2613] ITU-T Y.2613建议书（2010） – 公众分组电信数据网络的通用技术架构。

[ITU-T Y.2614] ITU-T Y.2614建议书（2011） – 公众分组数据网络的网络可靠性。

3 定义

3.1 其他地方定义的术语

本建议书使用以下其他地方定义的术语：

3.1.1 地址（address） [ITU-T Y.2601]：地址是某特定终接点的标识符，用于向此终接点路由。

注 – 标识符可被用于注册或授权。它们既可以公开地用于所有网络，也可在有限数量的网络间共用，或专门用于特定的网络（专用标识符通常不向第三方披露）。

3.1.2 替代路由模式（alternative routing model） [ITU-T Y.2614]：一种可以为源公众分组电信数据网络（PTDN）节点和目标PTDN节点之间提供多条路径的路由模式。

注 – 这些路径不需要具有确定性和唯一性。在该模式下，发送路径和接收路径不一定由相同的节点和链路组成。

3.1.3 双路径路由模式 (dual path routing model) [ITU-T Y.2614]: 一种可以为源公众分组电信数据网络 (PTDN) 节点和目标PTDN节点之间提供两条完全不相交路径的路由模式。

注 – 这两条路径不一定是最短路径。

3.1.4 公众分组电信数据网络 (PTDN) (public packet telecommunication data network) [ITU-T Y.2613]: 一种专门设计用来NGN传输层的分组数据网络, 应具备安全、值得信任、可控及可管, 能够满足[ITU-T Y.2601]提出的所有要求。PTDN是一个层次化网络架构, 可以被分为若干网络层。

3.1.5 最短路径路由模式 (shortest path routing model) [ITU-T Y.2614]: 一种可以为源PTDN节点和目标PTDN节点之间提供一条确定和单一的最短路径的路由模式。

注 – 在此模式下, 从源节点至目标节点之间的路径与从目标节点至源节点之间的路径是相同的。

3.1.6 路径保护 (trail protection) [b-ITU-T G.780]: 当工作路径失效或其性能性指标低于要求标准时, 正常流量将经由或选择走保护路径。

3.2 本建议书定义的术语

本建议书定义了如下术语:

3.2.1 主导节点 (dominant node): 域中的一个PTDN节点, 该节点负责计算路由方案并为域中各个PTDN节点创建路由表。

3.2.2 耳分解 (ear decomposition): 在无向图 $G = (V, E)$ 中, 耳分解 $D = \{P_0; P_1; \dots; P_{r-1}\}$ 就是将 E 分解为被称为耳的有序集合, 这其中耳指的是不相连边的简单路径 $P_0; P_1; \dots; P_{r-1}$, 从而使得:

- P_0 是一个简单圆。
- $P_i (i > 0)$ 是一个简单路径, 其两个终点来自较低编号耳, 但其内部任何一个端点都不属于较低编号耳。
- $P_i (i > 0)$ 也可能是一个简单圆。如果它是只包含一条边的圆, 则称为平凡耳。

3.2.3 潜能 (potential energy): 一个由PTDN节点地址衍生出的数值, 该节点地址对该节点而言是唯一的, 其可被用来从多个冗余路径中选择一条路径。在最短路径路由模式中, 当若干路径都拥有与最短路径相同的成本时, 路径上节点的潜能值被用于选择某一个路径。

3.2.4 ST编号 (ST number): 在耳分解过程后, 根据分解结果和生成树 (ST) 数量对域中的节点进行重新编号, 其中的ST编号被用于组成从源节点至目标节点之间无相连节点的两个路径。

4 缩略语和首字母缩略词

本建议书使用以下缩略语和首字母缩略词:

NNI	网络到网络接口
PTDN	公众分组电信数据网络
QoS	业务质量
ST	生成树
TTL	生存时间值

UNI 用户到网络接口
 VPN 虚拟专用网络

5 路由架构

PTDN地址空间是分层的，且PTDN地址是根据地域分布来分配的。PTDN地址的前缀包含分层信息。在PTDN中，一个域是由一个部门管理的一组节点组成的，具有共同的路由策略。在一个域中，节点通常具有相同的地址前缀，采用共同的标准来对分组数据进行路由，并分享同一个路由表信息。在同一个域内节点之间的关系称为域内，不同域节点之间的关系称为域间。

图1给出的示例解释了域的概念。在该PTDN网络中有四个域：域1、域2、域3和域4。域1的节点位于核心层，其地址前缀为“1000 0000 0000”。在接入层有两个域：域3和域4，其前缀分别为“1000 1000 1000”和“1000 1000 2000”。

PTDN的路由机制分为两个层面：域内路由机制和域间路由机制。

在一个域内比如从节点d到节点h的路由称为域内路由。在不同域之间比如从节点f到节点m以及从节点g到节点j之间的路由称为域间路由。

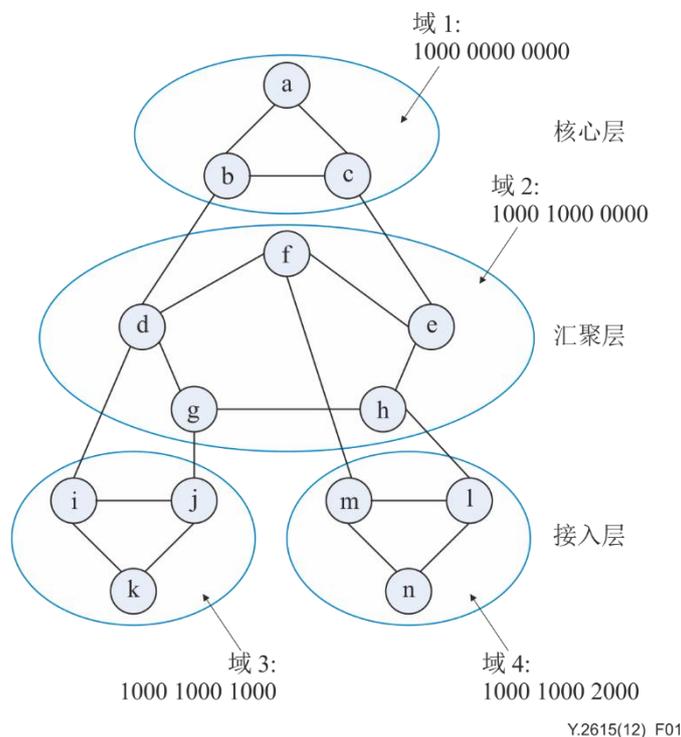


图1 – PTDN的域的图示

5.1 域内路由机制

域内路由机制可分为两部分：一部分负责制定域内路由表，另一部分负责生成两类转发表 – 域间转发表和域内转发表。

- (1) 当一个域的边界节点在本域内传送其他域的路由信息（比如域前缀或地址）时，将基于域内路由表建立域间转发表。然后，根据域间转发表，这些其他域的路由信息将被传送到本域内的与其他域相连接的其他边界节点。
- (2) 当分组数据抵达目标域，或源PTDN节点与目标PTDN节点位于相同域时，节点将根据域内路由表建立域内转发表。分组数据将基于域内转发表被转发至目标PTDN节点。

在PTDN域内路由机制中，PTDN节点的潜能将被用来构建路由表。

5.2 域间路由机制

域间路由机制可分为两部分：一部分是域内部分，另一部分是跨域部分。

域内部分建立域内转发表，通常用于在一个域内传输来自其他域的地址前缀。跨域部分利用域间转发表在边界节点之间传输其他域的路由信息（如域前缀或地址）。

可能同时存在多条域间连接，但在最短路径模式或双路径路由模式下，只有最佳的域间连接是有效的。最佳域间连接的选择基于三个参数：优先级、传输速率和节点地址。一个连接的优先级可以手动配置。在替代路由模式下，所有这些域间连接都将被使用，但将根据各个连接的成本来区分这些路径。

6 路由模式

在PTDN路由机制中，有三种路由模式：最短路径路由模式、双路径路由模式和替代路由模式。这三种模式提供不同的功能，并应用在不同场景中。

在PTDN报头数据中，有两个比特负责确定三种PTDN路由模式下的四类路由策略：

- 00: 最短路径路由模式；
- 01: 双路径路由模式（工作路径）；
- 10: 双路径路由模式（保护路径）；
- 11: 替代路由模式。

6.1 最短路径路由模式

最短路径路由模式提供一条明确且唯一的路径，该路径是域中任意两个不同PTDN节点之间成本最低的路径。在该模式下，从源节点至目标节点的路径与目标节点至源节点之间的路径相同。当采用最短路径路由模式时，可以保证服务质量。

如果有多个域间连接，则在采用最短路径模式下，两个域之间只有一条活动的、能够承载所有流量的连接，其他连接将被设定为无效状态。

在路由表中，对于不同的域间连接，可能对应若干条路径。在转发表中，仅放置活动域间连接对应的路径，以便转发相应的分组数据包。

6.2 双路径路由模式

双路径路由模式为域中不同PTDN节点对之间提供两种确定且完全不相联的路径。在该模式下，发送路径和接收路径由相同的节点和链路组成。在双路径路由模式下，可以确保服务质量。

双路径路由模式可以提供路径保护功能，但该模式不能确保这两个不相联的路径是最短路径。

如果有多个域间连接，则在双路径模式下，两个域之间只有一条活动的、能够承载所有流量的连接，其他连接将被设定为无效状态。

在转发表中，只放置活动的域间连接。

双路径路由模式的应用范围仅限于以下两种情况的网络拓扑：

- (1) 网络图是双边连通的；
- (2) 网络图是双向连通的。

注 – 在一个连通图 $G = (V, E)$ 中，当一条边 $e \in E$ 不在 G 内的一个圆上时，则被称为切割边。在一个无向连通图 $G = (V, E)$ 中，如果不包含切割边，则该图是双边连通的。

6.3 替代路由模式

替代路由模式为域内每个不同PTDN节点对提供多条路径。这些路径不需要是确定或唯一的。在该模式下，发送路径和接收路径的组成节点和链路不一定相同。替代路由模式的工作路径不需要是最短路径。在替代路由模式下，不一定能确保服务质量。

替代路由模式可为最短路径路由模式提供路径保护功能。当最短路径路由模式失灵时，可以使用替代路由模式，以使节点之间能够继续提供通信功能。

如果存在多条域间连接，则将按照每个连接的成本对所有这些连接进行排序，并将依次适用对应的转发表。

7 最短路径路由模式

7.1 拓扑的构建

在最短路径路由模式下，每个PTDN节点维护相同的拓扑信息，其中包括域中所有节点的信息以及节点之间所有链路的信息。拓扑结构的设置程序定义如下。

- (1) 为每个活动节点设置一个地址和一个成本（成本的计算基于优先级、带宽和其他连接信息）。
- (2) 在相邻节点之间交换配置信息。
- (3) 在域内交换每个PTDN节点的地址和链路状态信息。

7.2 域内路由

主导节点是域内的一个PTDN节点，负责计算域内节点之间的路径，并为域内PTDN节点生成路由表。

一个域内具有最小节点地址的PTDN节点被指定为主导节点。域内具有次最小节点地址的PTDN节点被指定为后备主导节点。

在最短路径路由模式下，主导节点根据成本来计算每个不同PTDN节点对之间具有最小成本的路径。如果对于每个不同PTDN节点对，存在若干个具有相同成本的下一跳，则具有潜能的下一跳节点接近当前PTDN节点的被选为下一跳节点。路由表将根据这一过程来建立。

主导节点将根据路由表来为域内的每个节点计算转发表，然后将转发表发送至域内的所有节点。

7.3 域间路由

在最短路径路由模式下，域间路由包括两部分，分别为跨域路由协议和域内路由协议。

跨域路由协议在不同域之间工作，用于交换不同域的PTDN边界节点之间的前缀信息。通过利用跨域路由协议，可以实现域间路由策略。在最短路径路由模式下，如果域间存在多条连接，则将根据其成本来对这些连接进行排序。具有最低成本的连接将被设置为活动连接，用来承载业务流量，其他连接将被设置为不活动连接。域间连接的优先级可以通过手动设置。

域内路由协议在一个域内部运行，用于传输域内的路由信息。

8 双路径路由模式

8.1 拓扑的构建

在双路径路由模式下，每个PTDN节点维护相同的拓扑信息，其中包括域中所有节点的信息以及节点之间所有链路的信息。拓扑的设置程序定义如下。

- (1) 为每个活动节点设置一个地址，为每个活动连接设置一个成本，其中，成本的计算基于优先级、带宽和其他连接信息。
- (2) 创建一个覆盖域内所有节点的生成树。
- (3) 在域内交换每个PTDN节点的地址和链路状态信息。

8.2 域内路由

在双路径路由模式下，主导节点在被告知拓扑信息后，将为每个不同PTDN节点对计算两个完全不相连的路径。在这一过程中，双路径转发表可以通过管理命令（集中化）或控制命令（分离化）方式来设置。

主导节点将采取以下步骤来生成两个不相连的路径。

- (1) 对PTDN域内的节点和链路执行一个耳分解程序。
- (2) 为当前域内的每个PTDN节点创建一个生成树（ST）编号。
- (3) 基于耳分解过程和ST编号，构建两个不相连的路径，分别为工作路径和保护路径。

注 – 本过程的详细步骤见附件A。

8.3 域间路由

在双路径路由模式下，域间路由包括两部分：跨域路由协议和域内路由协议。

跨域路由协议在不同域之间工作，用于交换不同域的PTDN边界节点之间的路由信息。通过使用跨域路由协议，可以实现域间路由策略。

在双路径路由模式下，如果域之间存在多条连接，则将根据其成本来对这些连接进行排序。具有最低成本的两条连接将被选中：其中一条被设置为活动连接，用来承载流量，另一条连接将被选为备份连接，设置为不活动。域间连接的优先级可以通过手动设置。

域内路由协议在一个域内部运行，用于传输该域内的前缀信息。

9 替代路由模式

9.1 拓扑的构建

在替代路由模式下，每个PTDN节点维护相同的拓扑信息，其中包括域中所有节点的信息以及节点之间所有链路的信息。拓扑的设置程序定义如下。

- (1) 为每个活动节点设置一个地址，为每个活动链路设置一个成本，其中，成本的计算基于优先级、带宽和其他连接信息。
- (2) 在相邻节点之间交换配置信息。
- (3) 在域内广播每个PTDN节点的地址和链路状态信息。

9.2 域内路由

主导节点是域内的一个PTDN节点，负责计算域内节点之间的路径，并为域内PTDN节点生成路由表。主导节点生成的路由表包含很多条替代路由模式下每对源PTDN节点和目标PTDN节点之间的不同域内路径。主导节点将生成的路由表向域内每个PTDN节点发送。

在域内，具有最小节点地址的PTDN节点被指定为主导节点。域内具有次最小节点地址的PTDN节点被指定为后备主导节点。

根据成本大小顺序，源PTDN节点至目标PTDN节点之间的多条路径将被排序。只有具有最小成本的路径才会被放置在转发表中。

在替代路由模式下，路径的成本可能因链路状态的改变或节点失效而改变。路径成本的变化将与预设的阈值进行比较，以便评估路由表是否应当重新排序。如果路由表因路径成本

的改变而做出了调整，则转发表也应做出相应的修改，以确保只有最低成本的下一跳才能放置在转发表内。

9.3 域间路由

在替代路由模式下，域间路由由两部分组成：跨域路由协议和域内路由协议。

跨域路由协议在不同域之间工作，用于交换不同域的PTDN边界节点之间的前缀信息。通过利用跨域路由协议，可以实现域间路由策略。在替代路由模式下，如果域间有多个连接，则将根据其成本来对这些连接进行排序，这其中成本的计算能将基于优先级、带宽和其他连接信息。域间连接的优先级可以由网络运营商手动设置。在替代路由模式下，所有域间连接都可以是活动的。

域内路由协议在一个域内运行，用于传输域内的前缀信息。域内路由生成的转发表将被域内路由协议使用。

10 路由程序

PTDN路由程序定义如下：

- (1) 当一个PTDN分组数据抵达时，PTDN节点对分组数据的报头字段的保护字段（2个比特，其定义见[ITU-T Y.2613]）进行检查：如果保护字段等于00，则将采用最短路径路由模式；如果保护字段等于11，则将采用替代路由模式；如果保护字段等于01，则将采用双路径路由模式，且工作路径将被用于转发分组数据；如果保护字段等于10，则将采用双路径路由模式，且保护路径将被用于转发分组数据。
- (2) 如果采用最短路径路由模式，则节点将在相应的转发表中搜索一条最短路径；如果搜索失败，则路由程序将转至步骤（4）。如果采用双路径路由模式，则当保护字段等于01时，节点将首先在对应的转发表中搜索工作路径；如果这一尝试失败，则节点将继续搜索保护路径；如果这也失败了，则路由程序将转至步骤（4）。当保护字段等于10时，节点将首先在对应的转发表中搜索保护路径；如果这一尝试失败，则节点将继续搜索工作路径；如果这也失败了，则路由程序将转至步骤（4）。如果采用替代路由模式，则在对应的转发表中将可能发现多条路径，理论上工作在该模式下的节点应该能够选择一个以上的下一跳来路由分组数据，且分组数据可以通过最低成本路径进行传输。如果这一尝试失败了，则该节点将选择次成本路径，以此类推。在搜索转发表时，将采用最长前缀匹配原则来选择下一跳。
- (3) 当节点通过相应的转发表发现了下一跳时，分组数据将被传输，且每经过一跳，TTL（6比特，定义于[ITU-T Y.2613]）字段减一位。
- (4) 如果在对应的转发表中没有找到能够匹配抵达的分组数据的目标节点的信息，则将使用默认路径。

11 安全考虑

对于PTDN路由机制，有以下两方面的安全考虑：

- 控制平面的安全保障；
- 网络连接的安全保障。

11.1 控制平面的安全保障

承载路由消息的PTDN控制平面使用了一些VPN。这些VPN具有以下安全特性：

- 隔离：用于控制平面的VPN相互之间是隔离的，且它们与那些不是用于控制平面的VPN之间也是隔离的。
- 资源保障：用于控制平面的VPN的资源是绝对有保障的，且具有最高优先级。
- NNI和UNI之间的分隔：路由数据只在特定VPN之内公开。非授权用户不能入侵这些VPN。

11.2 网络连接的安全保障

在PTDN中，由三种路由机制。其中两种能够提供终端间冗余路径连接，以确保网络连接。

在双路径路由机制中，该路由机制为分组数据的无连接模式转发提供两个完全独立的保护路由。两个路由互为备份。

在替代路由机制中，路由机制为域内每对不同PTDN节点之间提供若干路径。这些路径可以互为备份。

在一些场景中，PTDN的网络管理者可以通过PTDN管理功能来设置静态路由。这一程序的执行应当遵守PTDN M接口安全规则，具体信息见其他ITU-T建议书。

目前尚未发现这些路由机制有其他更多风险。

附件A

双路径路由模式的路径计算

(本附件是本建议书不可分割的组成部分。)

A.1 保护路径的构建

在PTDN路由机制下，双路径路由模式为分组数据的无连接模式转发提供两个完全独立的保护路由；其中之一称为红色路径，另一个称为蓝色路径。

保护路径的计算过程并不复杂。每个PTDN节点将执行以下步骤，以便为域内路径提供保护。

- 1) 对PTDN域内的节点和链接执行耳分解。
- 2) 为当前域内的每个PTDN节点生成一个ST编号。
- 3) 基于耳分解和ST编号，构建保护路径，包括红色保护路径和蓝色保护路径。

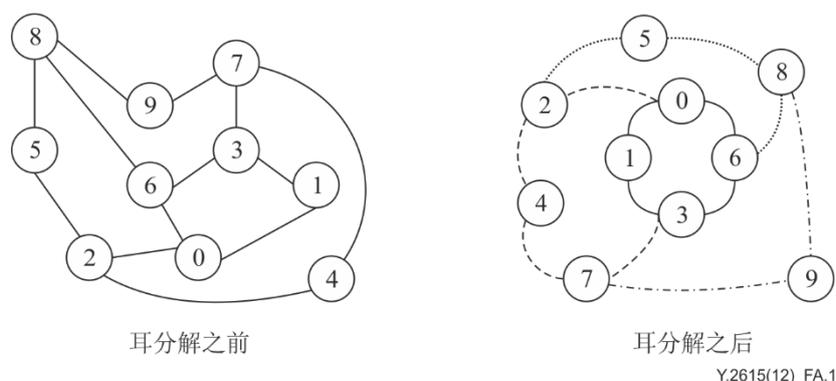
A.2 耳分解

在无向图 $G = (V, E)$ 中，耳分解 $D = \{P_0; P_1; \dots; P_{r-1}\}$ 就是将 E 分解为被称为耳的有序集合，这其中耳指的是不相连边的简单路径 $P_0; P_1; \dots; P_{r-1}$ ，其中：

- P_0 是一个简单圆。
- $P_i (i>0)$ 是一个简单路径，其终点属于较低编号耳，但其内部任何一个定点都不属于较低编号耳。
- $P_i (i>0)$ 也可能是一个简单圆。如果它是只包含一条边的圆，则称为平凡圆。

当且仅当 $P_i (i>0)$ 没有圆时，该耳分解被称为是开放的。

在图A.1中，左面显示的网络拓扑被分解为四个耳，如图右所示。其中， P_0 是一个简单圆，包含节点0、1、3和6； P_1 由节点2、4和7组成，其终点3和0属于耳 P_0 ，该耳与 P_1 相比属于较低编号耳； P_2 由节点5和8组成，其终点2和6分别属于耳 P_1 和 P_0 ，这两个耳相比较 P_2 而言是较低编号耳； P_3 由节点9组成，终点7和8属于耳 P_1 和 P_2 ，这两个耳相比较 P_3 而言是较低编号耳。



图A.1 – 耳分解

仅当图是两边相通时，才存在耳分解。在PTDN网络中，一个两边相通的图能够提供链路失效和节点失效保护。

耳分解的过程可分为以下几个步骤：

- (1) 构建一个最小生成树；
- (2) 生根最小生成树；
- (3) 对最小生成树进行预编号；
- (4) 在最小生成树中，用其端点的最低共祖数标记每个非树边，并按其最低共祖数升序对非树边进行排序，将耳编号分配给非树边；
- (5) 将耳编号分配给树边。

A.3 ST编号的生成

有向子图的构建涉及到对耳朵的定位，以及为每个顶点获取ST编号。ST编号将被用户构建红色路由和蓝色路由。

ST编号将通过以下程序获得。

- (1) 在 P_0 中选取具有最小PTDN地址的顶点。该顶点被记作 v_s 。在 P_0 中与 v_s 相邻之处存在其他两个顶点（因为存在开放耳分解，并假定为简单图）。在这两者之中，将选择具有较小PTDN地址的那个顶点，并将其记为 v_t 。
- (2) P_0 将被引导至某个方向，对应的边 $\{v_s, v_t\}$ 的方向将从顶点 v_t 至顶点 v_s 。 P_0 其他边的方向将确保 P_0 构成一个在有向子图上的圆（也就是说路径的方向是从顶点 v_s 开始，贯穿 P_0 内部顶点，并抵达 v_t ）。
- (3) 构建一个 P_0 内部所有顶点的有序列表（ O_{st} ），起点为 v_s ，终点为 v_t ，方向为沿着有向边，以便纳入 P_0 内部所有点（也就是说不沿着直通边 $\{v_s, v_t\}$ 的方向）。在所有耳都被纳入后，一个给定顶点将在有序列表 O_{st} 中出现一次。用来指出该顶点在有序列表 O_{st} 中的位置的指数，就是该顶点的ST编号。
- (4) 对于具有顶点 u 和 v （分别是耳的起点和终点，在 $\{P_0, P_1, \dots, P_{i-1}\}$ 集合内）的耳 P_i ，如果在有序列表 O_{st} 中，顶点 u 的指数小于顶点 v 的指数（即在列表中， u 出现在顶点 v 之后），则耳 P_i 的方向将是从 u 到 v 。耳 P_i 的内点将被加到有序列表 O_{st} 中，排在 u 之后，并沿着从顶点 u 至顶点 v 的方向。
- (5) 重复步骤4，指导所有耳都被纳入。

A.4 保护路径的构建

保护路径将基于耳分解和ST编号来构建。计算规则可描述如下。

- (1) 如果按升阶顺序的ST编号来构建红色路径，则将按降阶顺序的ST编号来构建蓝色保护路径，反之亦然。
- (2) 如果按ST编号的升阶顺序从源PTDN节点向目标PTDN节点转发分组数据，则将按ST编号的降阶顺序将分组数据转发回源PTDN节点，反之亦然。
- (3) 如果有多个相邻PTDN节点，且其ST编号以升阶（或降阶）顺序排列，则最靠近目标PTDN节点的ST编号将被选为下一跳。
- (4) 按升阶（或降阶）顺序，下一跳的ST编号不应超过目标PTDN节点的ST编号。

A.5 链路状态数据库的构建

基于耳分解的结果，域内主导节点生成链路状态数据库，该数据库被用于计算红色路径和蓝色路径，并被广播至域内各个节点。域内的每个节点拥有相同的链路状态数据库。链路状态数据库由域内每个节点的链路状态组成，其中包括以下项目：

- 类型：指出路径的类型，可以使用链路状态计算而得；0：蓝色路径，1：红色路径。
- PTDN节点：当前PTDN节点的网络地址。
- 链路数量：连接当前节点的链路的数量。
- 邻节点：相邻PTDN节点的网络地址。
- 接口：连接相应相邻节点的接口。
- 链路加权：如果该链路在红色路径（或蓝色路径）中是活动的，则其链路加权将被设置为1，否则其链路加权将被设置为888（或其他更大的值）。

表A.1是一个链路状态的示例。

表A.1 – 一个PTDN节点的链路状态

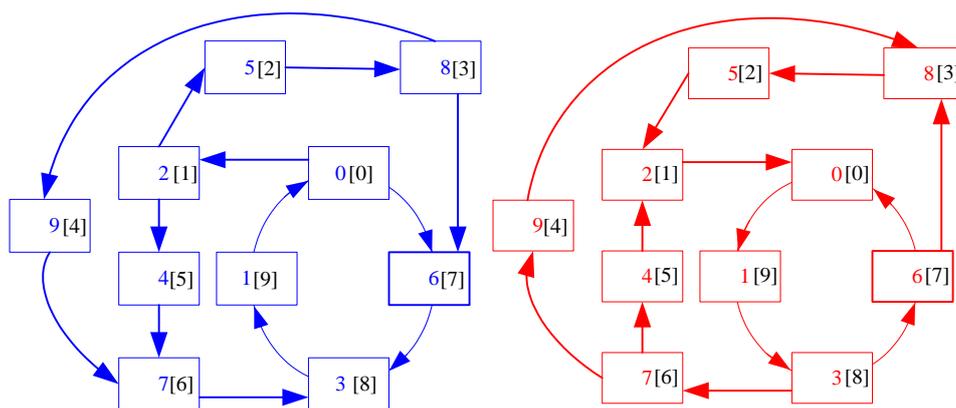
类型（0：蓝色路径；1：红色路径）
PTDN节点（当前PTDN节点的网络地址）
链路数量
链路1描述（邻节点，接口，链路加权）
链路2描述（邻节点，接口，链路加权）
.....

链路状态数据库由域内所有PTDN节点的链路状态组成。红色路径的链路状态数据库被用于计算红色路径，蓝色路径的链路状态数据库用于计算蓝色路径。

实际上，只有蓝色（或红色）链路状态数据库需要被保存，而另一个链路状态数据库，即红色（如果保存的是蓝色链路状态数据库）或蓝色（如果保存的是红色链路状态数据库）链路状态数据库将通过调链路的链路加权值计算而得。

一个有向子图的例子如图A.2所示，其中，ST编号在[]内。图的左部分是蓝色路径的有向子图，其中，ST编号沿着方向不断增长（节点0除外）。图的右部分是红色路径的有向子图，其中ST编号沿着方向不断降低（节点0除外）。对于蓝色数据链路状态数据库，只有相邻节点的ST编号大于现有节点的ST编号时，该节点才是活动的。对于红色数据链路状态数据库，只有相邻节点的ST编号小于现有节点的ST编号时，该节点才是活动的。

在图A.2中，PTDN节点0可能具有一个类似表A.2的蓝色链路状态，以及一个类似表A.3的红色链路状态。在A.3表中，链路加权值与蓝色链路状态下的值相反。



图A.2 – 蓝色路径（左）和红色路径（右）有向子图

表A.2 – 节点0的蓝色链路状态

类型 (0)
PTDN节点 (0)
链路数量 (0)
链路1描述: 邻节点: 2 接口: 串行0 链路加权: 1 (活动)
链路2描述: 邻节点: 1 接口: 串行1 链路加权: 888 (不活动)
链路3描述: 邻接点: 6 接口: 串行2 链路加权: 1 (活动)

表A.3 – 节点0的红色链路状态

类型 (1)
PTDN节点 (0)
链路数量 (3)
链路1描述: 邻节点: 2 接口: 串行0 链路加权: 888 (不活动)
链路2描述: 邻节点: 1 接口: 串行1 链路加权: 1 (活动)
链路3描述: 邻节点: 6 接口: 串行2 链路加权: 888 (不活动)

A.6 转发表

路由表基于链路状态数据库，而转发表基于路由表。转发表被用于数据转发。在双路径路由模式下，有两种转发表；一个用于蓝色路径，另一个用于红色路径。转发表包括以下项目：

- 目标地址：指示目标网络的地址或目标PTDN节点的地址。
- 颜色：该颜色标志表示转发表用于哪种路径：0代表蓝色路径，1代表红色路径。
- 接口：指出接口的串行编号。
- 下一跳：指出下一跳的地址。

PTDN节点也可能有一个看起来像表A.4的双路径路由模式转发表。

表A.4 – 双路径路由模式转发表示例

目标地址	颜色	接口	下一跳
1000 0000 0000 xxxx	红色	串行0	1000 1000 0000 0012
1000 0000 0000 xxxx	蓝色	串行1	1000 1000 0000 0008

参考书目

- [b-ITU-T G.780] ITU-T G.780/Y.1351建议书（2010），同步数字系列（SDH）网络的术语和定义。
- [b-ITU-T G.870] ITU-T G.870/Y.1352建议书（2012），光传输网（OTN）的术语和定义。
- [b-ITU-T G.8131] ITU-T G.8131/Y.1382建议书（2007），MPLS（T-MPLS）网络传输的线性保护交换。
- [b-ITU-T I.322] ITU-T I.322建议书（1999），电信网络通用协议参考模型。
- [b-ITU-T I.630] ITU-T I.630建议书（1999），ATM保护交换。
- [b-ITU-T M.2102] ITU-T M.2102建议书（2000），国际SDH VC路径（路径）和复用部分的复原机制（保护和恢复）的维护阈值和程序。
- [b-ITU-T X.136] ITU-T X.136建议书（1997），公众数据网络在提供国际分组交换业务时的准确度和可靠性指标。
- [b-ITU-T X.137] ITU-T X.137建议书（1997），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 X.200] ITU-T X.200建议书（1994），信息技术－开放系统互联－基本参考模型：基本模型。
- [b-ITU-T X.212] ITU-T X.212建议书（1995），信息技术－开放系统互联－数据链路业务定义。
- [b-ITU-T X.323] ITU-T X.323建议书（1988），分组交换公众数据网络（PSPDNs）之间互联的通用安排。
- [b-ITU-T X.371] ITU-T X.371/Y.1402建议书（2001），公众数据网与互联网之间互联的通用安排。
- [b-ITU-T Y.1001] ITU-T Y.1001建议书（2000），IP框架－电信网络与IP网络技术融合框架。
- [b-ITU-T Y.1251] ITU-T Y.1251建议书（2002），用于互通的通用架构模型。
- [b-ITU-T Y.1720] ITU-T Y.1720建议书（2006），MPLS网络的保护倒换。

- [b-ITU-T Y.2001] ITU-T Y.2001建议书（2004），下一代网络（NGN）概况。
- [b-ITU-T Y.2011] ITU-T Y.2011建议书（2004），下一代网络的一般原则和通用参考模型。
- [b-ITU-T Y.2012] ITU-T Y.2012建议书（2010），下一代网络的功能要求和架构。

ITU-T系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
D系列	一般资费原则
E系列	综合网络运营、电话业务、业务运营和人为因素
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	视听和多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线网络以及电视、声音节目和其他多媒体信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	环境与ICT、气候变化、电子废物、节能；线缆和外部设备的其他组件的建设、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	测量设备的规范
P系列	终端以及主观和客观评估方法
Q系列	交换和信令
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、互联网的协议问题、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