

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

Y.2615

(07/2012)

СЕРИЯ Y: ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ
ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА
ИНТЕРНЕТ И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

Сети последующих поколений – Пакетные сети

**Механизмы маршрутизации в сетях
пакетной передачи данных
электросвязи общего пользования**

Рекомендация МСЭ-Т Y.2615

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ Y

ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА, АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ
И СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА	
Общие положения	Y.100–Y.199
Услуги, приложения и промежуточные программные средства	Y.200–Y.299
Сетевые аспекты	Y.300–Y.399
Интерфейсы и протоколы	Y.400–Y.499
Нумерация, адресация и присваивание имен	Y.500–Y.599
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.600–Y.699
Безопасность	Y.700–Y.799
Рабочие характеристики	Y.800–Y.899
АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА ИНТЕРНЕТ	
Общие положения	Y.1000–Y.1099
Услуги и приложения	Y.1100–Y.1199
Архитектура, доступ, возможности сетей и административное управление ресурсами	Y.1200–Y.1299
Транспортирование	Y.1300–Y.1399
Взаимодействие	Y.1400–Y.1499
Качество обслуживания и сетевые показатели качества	Y.1500–Y.1599
Сигнализация	Y.1600–Y.1699
Эксплуатация, управление и техническое обслуживание	Y.1700–Y.1799
Начисление платы	Y.1800–Y.1899
IPTV по СПП	Y.1900–Y.1999
СЕТИ ПОСЛЕДУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ	
Структура и функциональные модели архитектуры	Y.2000–Y.2099
Качество обслуживания и рабочие характеристики	Y.2100–Y.2199
Аспекты обслуживания: возможности услуг и архитектура услуг	Y.2200–Y.2249
Аспекты обслуживания: взаимодействие услуг и сетей в СПП	Y.2250–Y.2299
Нумерация, присваивание имен и адресация	Y.2300–Y.2399
Управление сетью	Y.2400–Y.2499
Архитектура и протоколы сетевого управления	Y.2500–Y.2599
Пакетные сети	Y.2600–Y.2699
Безопасность	Y.2700–Y.2799
Обобщенная мобильность	Y.2800–Y.2899
Открытая среда операторского класса	Y.2900–Y.2999
БУДУЩИЕ СЕТИ	Y.3000–Y.3499
ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ	Y.3500–Y.3999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Механизмы маршрутизации в сетях пакетной передачи данных электросвязи общего пользования

Резюме

Сеть пакетной передачи данных электросвязи общего пользования (PTDN), являющаяся одной из иерархических сетей пакетной передачи данных, которая может отвечать требованиям к будущим пакетным сетям (FPBN), предлагает решение по эффективным и надежным механизмам маршрутизации. В Рекомендации МСЭ-Т Y.2615 представлена архитектура, модели и соответствующие механизмы маршрутизации, такие как построение топологии, внутридоменная маршрутизация, междоменная маршрутизация и процедуры маршрутизации.

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т Y.2615	29.07.2012 года	13-я	11.1002/1000/11703

Ключевые слова

Альтернативная маршрутизация, двухпутевая маршрутизация, PTDN, архитектура маршрутизации, маршрутизация по кратчайшему пути.

* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: <http://handle.itu.int/>, после которого следует уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы.

Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2019

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

Содержание

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Справочные документы	1
3 Определения	1
3.1 Термины, определяемые в других документах	1
3.2 Термины, определяемые в настоящей Рекомендации	2
4 Сокращения и акронимы	2
5 Архитектура маршрутизации	3
5.1 Механизм внутридоменной маршрутизации	3
5.2 Механизм междоменной маршрутизации	4
6 Модели маршрутизации	4
6.1 Модель маршрутизации по кратчайшему пути	4
6.2 Двухпутевая модель маршрутизации	4
6.3 Альтернативная модель маршрутизации	5
7 Модель маршрутизации по кратчайшему пути	5
7.1 Построение топологии	5
7.2 Внутридоменная маршрутизация	5
7.3 Междоменная маршрутизация	6
8 Двухпутевая модель маршрутизации	6
8.1 Построение топологии	6
8.2 Внутридоменная маршрутизация	6
8.3 Междоменная маршрутизация	6
9 Альтернативная модель маршрутизации	7
9.1 Построение топологии	7
9.2 Внутридоменная маршрутизация	7
9.3 Междоменная маршрутизация	7
10 Процедура маршрутизации	8
11 Вопросы безопасности	8
11.1 Гарантия безопасности плоскости управления	8
11.2 Гарантия безопасности сетевых соединений	8
Приложение А. – Вычисление пути в двухпутевой модели маршрутизации	10
А.1 Построение защитных путей	10
А.2 Ушная декомпозиция	10
А.3 Генерирование номеров ST	11
А.4 Построение защитных маршрутов	11
А.5 Построение базы данных о состоянии линий связи	12
А.6 Таблица переадресации	14
Библиография	15

Рекомендация МСЭ-Т Y.2615

Механизмы маршрутизации в сетях пакетной передачи данных электросвязи общего пользования

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации определяются механизмы маршрутизации сети пакетной передачи данных электросвязи общего пользования (PTDN), включая архитектуру маршрутизации, модели маршрутизации и соответствующие механизмы маршрутизации, такие как построение топологии, внутридоменная маршрутизация, междоменная маршрутизация и процедуры маршрутизации.

2 Справочные документы

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие справочные документы содержат положения, которые, путем ссылок на них в данном тексте, составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других справочных документов, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- [ITU-T Y.2601] Рекомендация МСЭ-Т Y.2601 (2006 год), *Основные характеристики и требования к будущим пакетным сетям.*
- [ITU-T Y.2611] Рекомендация МСЭ-Т Y.2611 (2006 год), *Архитектура высокого уровня для будущих пакетных сетей.*
- [ITU-T Y.2612] Рекомендация МСЭ-Т Y.2612 (2009 год), *Общие требования и структура адресации, маршрутизации и переадресации в будущих пакетных сетях.*
- [ITU-T Y.2613] Рекомендация МСЭ-Т Y.2613 (2010 год), *Общая техническая архитектура сети пакетной передачи данных электросвязи общего пользования.*
- [ITU-T Y.2614] Рекомендация МСЭ-Т Y.2614 (2011 год), *Надежность сети пакетной передачи данных электросвязи общего пользования.*

3 Определения

3.1 Термины, определяемые в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определяемые в других документах.

3.1.1 адрес (address) [ITU-T Y.2601]: Адрес представляет собой указатель конкретной оконечной точки и используется при установлении маршрута к данной оконечной точке.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Идентификаторы могут использоваться при регистрации или авторизации. Они могут быть общего пользования для всех сетей, совместно использоваться ограниченным количеством сетей либо принадлежать какой-то конкретной сети (частные идентификаторы обычно не раскрываются третьим сторонам).

3.1.2 альтернативная модель маршрутизации (alternative routing model) [ITU-T Y.2614]: Модель маршрутизации, предоставляющая несколько путей между узлом – источником сети пакетной передачи данных электросвязи общего пользования (PTDN) и узлом назначения PTDN.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти пути не обязательно должны быть детерминированными и уникальными. В этой модели путь передачи и путь приема не обязательно состоят из одних и тех же узлов и линий связи.

3.1.3 двухпутевая модель маршрутизации (dual path routing model) [ITU-T Y.2614]: Модель маршрутизации, обеспечивающая два абсолютно разных пути между узлом – источником сети пакетной передачи данных электросвязи общего пользования (PTDN) и узлом назначения PTDN.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Оба эти пути могут не быть кратчайшими.

3.1.4 Сеть пакетной передачи данных электросвязи общего пользования (public packet telecommunication data network (PTDN)) [ITU-T Y.2613]: Сеть пакетной передачи данных, предназначенная для страты транспортирования СПП, которая должна быть безопасной, надежной, контролируемой и управляемой, может отвечать всем требованиям, указанным в [ITU-T Y.2601]. PTDN – это иерархическая сеть, которую можно разделить на несколько сетевых уровней.

3.1.5 Модель маршрутизации по кратчайшему пути (shortest path routing model) [ITU-T Y.2614]: Модель маршрутизации, обеспечивающая кратчайший детерминированный и уникальный путь из узла – источника PTDN в узел назначения.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В этой модели пути из узла-источника в узел назначения и из узла назначения в узел-источник совпадают.

3.1.6 защита тракта (trail protection) [ITU-T G.780]: нормальный трафик переносится/выбирается из защитного тракта вместо рабочего, если рабочий тракт вышел из строя или его пропускная способность опустилась ниже требуемого уровня.

3.2 Термины, определяемые в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации используются следующие термины.

3.2.1 доминирующий узел (dominant node): Узел PTDN в составе домена, который отвечает за расчет маршрутизации и создание таблицы маршрутизации для каждого узла PTDN в этом домене.

3.2.2 ушная декомпозиция (ear decomposition): Ушная декомпозиция $D = \{P_0; P_1; \dots; P_{r-1}\}$ неориентированного графа $G = (V, E)$ – это разбиение E на упорядоченный набор непересекающихся по ребрам простых путей $P_0; P_1; \dots; P_{r-1}$, называемых ушами, при котором:

- P_0 – это простой цикл;
- P_i ($i > 0$) – это простой путь, конечные точки которого принадлежат ушам с меньшими номерами, причем ни одна из внутренних вершин не принадлежит ушам с меньшими номерами;
- P_i ($i > 0$) также может быть простым циклом. Цикл, состоящий из единственного ребра, называют тривиальным ухом.

3.2.3 потенциальная энергия (potential energy): Числовое значение, полученное из адреса узла PTDN, которое должно быть уникальным для узла и может использоваться для выбора одного из нескольких избыточных путей. В модели маршрутизации по кратчайшему пути значения потенциальной энергии узлов используются для выбора единственного пути, когда несколько путей совпадают по стоимости с кратчайшим путем.

3.2.4 номер ST (ST number): После ушной декомпозиции узлы в домене перенумеровываются в соответствии с результатами декомпозиции с помощью номеров связующих деревьев (ST), которые используются для формирования двух путей с непересекающимися узлами из узла-источника в узел назначения.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

NNI	Network to Network Interface	Интерфейс сеть-сеть
PTDN	Public packet Telecom Data Network	Сеть пакетной передачи данных электросвязи общего пользования
QoS	Quality of Service	Качество обслуживания
ST	Spanning Tree	Связующее дерево
TTL	Time To Live	Предписанное время жизни
UNI	User to Network Interface	Интерфейс пользователь-сеть
VPN	Virtual Private Network	Виртуальная частная сеть

5 Архитектура маршрутизации

Адресное пространство RTDN – иерархическое, а адреса RTDN назначаются в зависимости от географического распределения. Префикс адреса RTDN содержит иерархическую информацию. Домен RTDN состоит из группы узлов под единым администрированием и с общими правилами маршрутизации. Узлы в домене обычно имеют идентичные префиксы адреса, используют общие параметры маршрутизации пакетов и информацию из одной и той же таблицы маршрутизации. Отношения между узлами одного и того же домена называются внутримоментными, а между узлами разных доменов – междоментными.

Концепцию доменов иллюстрирует пример, приведенный на рисунке 1. В этой сети RTDN имеются четыре домена: домен 1, домен 2, домен 3 и домен 4. Узлы домена 1, расположенные на уровне ядра, имеют префикс адреса 1000 0000 0000. На уровне доступа имеются два домена – домен 3 и домен 4 соответственно с префиксами 1000 1000 1000 и 1000 1000 2000.

Механизм маршрутизации RTDN подразделяется на два уровня – механизм внутримоментной маршрутизации и механизм междоментной маршрутизации.

Маршрутизация внутри домена, например от узла d к узлу h , называется внутримоментной маршрутизацией. Маршрутизация через домены, например от узла f к узлу m и от узла g к узлу j , называется междоментной маршрутизацией.

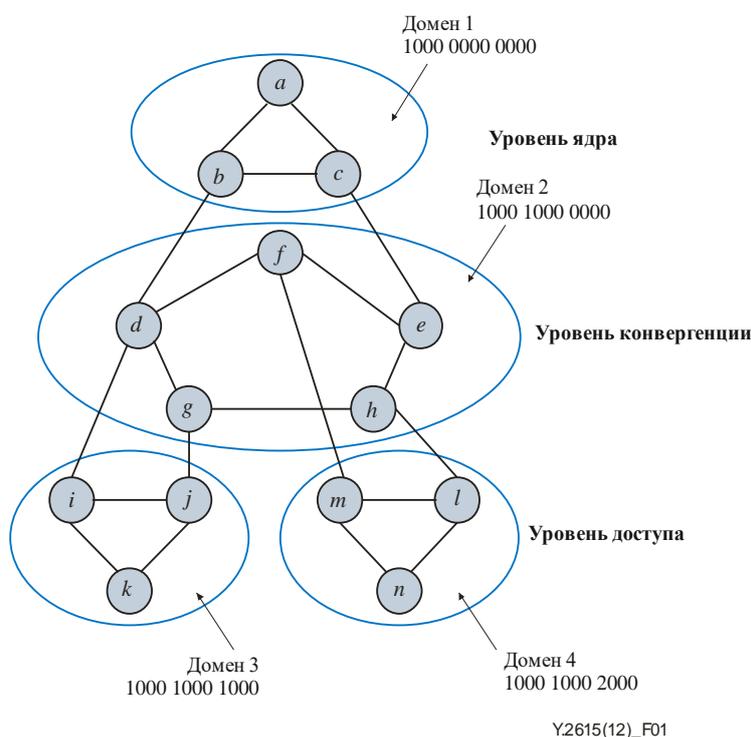


Рисунок 1 – Иллюстрация доменов в RTDN

5.1 Механизм внутримоментной маршрутизации

Механизм внутримоментной маршрутизации можно разделить на две части: одна часть создает таблицу внутримоментной маршрутизации, другая – таблицы переадресации двух видов – между доменами и внутри домена.

- 1) Когда граничный узел домена передает внутри домена информацию маршрутизации (например, префикс домена или адрес) других доменов, создается таблица междоментной переадресации на основе таблицы внутримоментной маршрутизации. Затем информация маршрутизации этих других доменов в соответствии с таблицей междоментной переадресации передается в другие граничные узлы данного конкретного домена, который соединяется с другими доменами.

- 2) Когда пакеты поступают в домен назначения или узел – источник PTDN, а узел назначения PTDN находится в том же домене, этот узел создает таблицу внутримономенной переадресации на основе таблицы внутримономенной маршрутизации. Пакеты переадресуются в узел назначения PTDN на основе таблицы внутримономенной переадресации.

В механизме внутримономенной маршрутизации PTDN для построения таблицы маршрутизации используется потенциальная энергия узлов PTDN.

5.2 Механизм междономенной маршрутизации

Механизм междономенной маршрутизации можно разделить на две части – внутримономенную и междономенную.

Внутримономенная часть создает таблицы внутримономенной переадресации, которые обычно используются внутри домена для передачи префиксов адресов других доменов. Междономенная часть передает информацию маршрутизации (например, префиксы доменов или адреса) других доменов между граничными узлами посредством таблицы междономенной переадресации.

Могут иметь место несколько междономенных соединений, и если применяется модель маршрутизации по кратчайшему пути или двухпутевая модель, то активно только наилучшее междономенное соединение. Наилучшее междономенное соединение выбирается по трем параметрам: приоритеты, скорость передачи и адрес узла. Приоритет соединения можно настроить вручную. В рамках альтернативной модели маршрутизации используется все множество междономенных соединений, а несколько путей дифференцируются по стоимости.

6 Модели маршрутизации

Механизм маршрутизации PTDN поддерживает три модели маршрутизации: модель по кратчайшему пути, двухпутевую модель и альтернативную модель. Эти три модели обеспечивают разные функции и применяются в разных сценариях.

В заголовке пакетов PTDN имеются два бита для определения четырех принципов маршрутизации в рамках трех моделей маршрутизации PTDN:

- 00 – модель маршрутизации по кратчайшему пути;
- 01 – двухпутевая модель маршрутизации (рабочий путь);
- 10 – двухпутевая модель маршрутизации (защитный путь);
- 11 – альтернативная модель маршрутизации.

6.1 Модель маршрутизации по кратчайшему пути

Модель маршрутизации по кратчайшему пути обеспечивает детерминированный и уникальный путь, соответствующий минимальной стоимости, между каждой парой узлов в домене PTDN. В этой модели путь из узла-источника в узел назначения совпадает с путем из узла назначения в узел-источник. Когда применяется модель маршрутизации по кратчайшему пути, может быть гарантировано QoS.

Если имеется несколько междономенных соединений и применяется модель маршрутизации по кратчайшему пути, то только одно из этих соединений активно для передачи всего трафика между двумя доменами, а другие деактивируются.

В таблице маршрутизации может быть несколько путей, соответствующих разным междономенным соединениям. В таблицу переадресации для пересылки пакетов вносится только путь, соответствующий активному междономенному соединению.

6.2 Двухпутевая модель маршрутизации

Двухпутевая модель маршрутизации обеспечивает два детерминированных и нигде не пересекающихся пути между каждой парой узлов PTDN в домене. В этой модели путь передачи и путь приема состоят из одних и тех же узлов и линий связи. Когда применяется двухпутевая модель маршрутизации, может быть гарантировано QoS.

Двухпутевая модель маршрутизации может обеспечивать функцию защиты тракта, но не гарантирует, что эти два непересекающихся пути являются кратчайшими.

Если имеется несколько междоменных соединений и применяется двухпутевая модель маршрутизации, то только одно из этих соединений активно для передачи всего трафика между двумя доменами, а другие соединения деактивируются.

В таблицу переадресации заносится только активное междоменное соединение.

Двухпутевая модель маршрутизации применяется только тогда, когда топология сети удовлетворяет следующим двум условиям:

- 1) граф сети представляет собой реберно двусвязный граф;
- 2) граф сети представляет собой двунаправленно связный граф.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Ребро $e \in E$ в связном графе $G = (V, E)$ является разрезающим ребром, если e не находится в цикле G . Связный неориентированный граф $G = (V, E)$ реберно двусвязен, если он не содержит разрезающего ребра.

6.3 Альтернативная модель маршрутизации

Альтернативная модель маршрутизации обеспечивает несколько путей между каждой парой отдельных узлов в домене PTDN. Эти пути не обязательно детерминированы и уникальны. В этой модели путь передачи и путь приема не обязательно состоят из одних и тех же узлов и линий связи. Рабочий путь альтернативной модели маршрутизации не обязательно является кратчайшим. Когда применяется альтернативная модель маршрутизации, QoS не гарантировано.

Альтернативная модель маршрутизации может обеспечивать функцию защиты тракта для модели маршрутизации по кратчайшему пути. В случае отказа модели маршрутизации по кратчайшему пути можно применить альтернативную модель маршрутизации, чтобы поддерживать связь между узлами.

Если существует несколько междоменных соединений, то все они будут упорядочены по стоимости каждого соединения, и соответствующие таблицы переадресации будут применяться надлежащим образом.

7 Модель маршрутизации по кратчайшему пути

7.1 Построение топологии

В модели маршрутизации по кратчайшему пути каждый узел PTDN поддерживает одну и ту же топологию, которая содержит информацию по всем узлам и межузловым линиям связи в домене. Процедура создания топологии определяется следующим образом.

- 1) Задаются адрес каждого активного узла и стоимость каждой активной линии связи (стоимость рассчитывается на основе приоритета, ширины полосы пропускания и другой информации о соединении).
- 2) Соседние узлы обмениваются информацией о конфигурации.
- 3) Происходит обмен информацией об адресе и состоянии линий связи каждого узла PTDN в домене.

7.2 Внутридоменная маршрутизация

Доминирующий узел – это узел PTDN в домене, отвечающий за расчет путей между узлами и создание таблиц маршрутизации для каждого узла PTDN в этом домене.

Доминирующим назначается узел PTDN с минимальным адресом в домене. Узел PTDN со вторым минимальным адресом в домене назначается резервным доминирующим узлом.

Доминирующий узел в модели маршрутизации по кратчайшему пути вычисляет путь с минимальной стоимостью для каждой пары отдельных узлов PTDN. Если для пары отдельных узлов PTDN имеется несколько следующих транзитных участков одинаковой стоимости, то в качестве узла следующего транзитного участка выбирается узел, ближайший к данному узлу PTDN по величине потенциальной энергии. По завершении этого процесса создается таблица маршрутизации.

По таблице маршрутизации доминирующий узел вычисляет таблицу переадресации для каждого узла в домене, а затем передает эту таблицу всем узлам в домене.

7.3 Междоменная маршрутизация

Механизм междоменной маршрутизации по кратчайшему пути состоит из двух частей – протокола междоменной маршрутизации и протокола внутридоменной маршрутизации.

Протокол междоменной маршрутизации выполняется между доменами и используется для обмена информацией о префиксах между граничными узлами PTDN разных доменов. С использованием протокола междоменной маршрутизации можно успешно реализовать политику междоменной маршрутизации. Если в модели маршрутизации по кратчайшему пути между доменами существует несколько соединений, то они сортируются по стоимости. Для передачи трафика услуги используется соединение с минимальной стоимостью, а остальные деактивируются. Приоритеты междоменных соединений можно устанавливать вручную.

Протокол внутридоменной маршрутизации работает внутри домена и используется для передачи информации о маршрутизации в домене.

8 Двухпутевая модель маршрутизации

8.1 Построение топологии

В двухпутевой модели маршрутизации каждый узел PTDN поддерживает одну и ту же топологию, которая содержит информацию по всем узлам и межузловым линиям связи в домене. Процедура создания топологии определяется следующим образом.

- 1) Производится настройка адреса каждого активного узла и стоимости каждой активной линии связи, которая рассчитывается на основе приоритета, полосы пропускания и другой информации о соединении.
- 2) Строится связующее дерево, охватывающее все узлы в домене.
- 3) Происходит обмен информацией об адресе и состоянии линий связи каждого узла PTDN в домене.

8.2 Внутридоменная маршрутизация

В модели двухпутевой маршрутизации доминирующий узел, получив информацию о топологии, вычисляет два непересекающихся пути для каждой пары отдельных узлов PTDN. При этом может быть построена двухпутевая таблица переадресации по команде управления (централизованного) или регулирования (децентрализованного).

Для построения двух непересекающихся путей доминирующий узел выполняет следующие действия.

- 1) Производит ушную декомпозицию узлов и линий связи в домене PTDN.
- 2) Генерирует номер связующего дерева (ST) для каждого узла PTDN в данном домене.
- 3) По результату ушной декомпозиции и номеру ST строятся два непересекающихся пути – рабочий и защитный.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Детали этого процесса описываются в Приложении А.

8.3 Междоменная маршрутизация

Механизм междоменной маршрутизации двухпутевой модели маршрутизации состоит из двух частей – протокола междоменной маршрутизации и протокола внутридоменной маршрутизации.

Протокол междоменной маршрутизации выполняется между доменами и используется для обмена информацией о маршрутах между граничными узлами PTDN разных доменов. С использованием протокола междоменной маршрутизации можно реализовать политику междоменной маршрутизации.

Если в двухпутевой модели маршрутизации между доменами существует несколько соединений, то они сортируются по стоимости. Выбираются два соединения с минимальной стоимостью; одно из них

используется для передачи трафика, а другое остается резервным и неактивным. Приоритеты междоменных соединений можно устанавливать вручную.

Протокол внутримоменной маршрутизации работает внутри домена и используется для передачи информации о префиксах в домене.

9 Альтернативная модель маршрутизации

9.1 Построение топологии

В альтернативной модели маршрутизации каждый узел PTDN поддерживает одну и ту же топологию, которая содержит информацию по всем узлам и межузловым линиям связи в домене. Процедура создания топологии определяется следующим образом.

- 1) Производится настройка адреса каждого активного узла и стоимости каждой активной линии связи, которая рассчитывается на основе приоритета, полосы пропускания и другой информации о соединении.
- 2) Соседние узлы обмениваются информацией о конфигурации.
- 3) Происходит распространение информации об адресе и состоянии линий связи каждого узла PTDN в домене.

9.2 Внутримоменная маршрутизация

Доминирующий узел – это узел PTDN в домене, который отвечает за расчет маршрутизации и составление таблицы маршрутизации для каждого узла PTDN в домене. В альтернативной модели маршрутизации таблица маршрутизации, составленная доминирующим узлом, содержит множество разных внутримоменных путей для каждой пары узлов-источников и узлов назначения PTDN в домене. Таким образом доминирующий узел передает составленную таблицу маршрутизации каждому узлу PTDN в домене.

Доминирующим узлом в домене назначается узел PTDN с минимальным адресом. Узел PTDN в домене со вторым минимальным адресом назначается резервным доминирующим узлом.

Пути от узла-источника до узла назначения PTDN сортируются в таблице маршрутизации по стоимости. В таблицу переадресации вносится только путь с минимальной стоимостью.

Стоимость путей в альтернативной модели маршрутизации может меняться ввиду изменения состояния линий связи или отказа узла. Изменение стоимости пути сравнивается с заранее заданным пороговым значением, чтобы оценить, следует ли пересортировать таблицу маршрутизации. Если таблица маршрутизации корректируется из-за изменения стоимости путей, то таблица переадресации изменяется соответствующим образом, чтобы гарантировать, что в нее попадет только следующий транзитный участок с минимальной стоимостью.

9.3 Междоменная маршрутизация

Механизм междоменной маршрутизации в альтернативной модели маршрутизации состоит из двух частей – протокола междоменной маршрутизации и протокола внутримоменной маршрутизации.

Протокол междоменной маршрутизации выполняется между доменами и используется для обмена информацией о префиксах между граничными узлами PTDN разных доменов. С использованием протокола междоменной маршрутизации можно реализовать политику междоменной маршрутизации. Если в альтернативной модели маршрутизации существует несколько соединений между доменами, то соединения сортируются по стоимости, которая рассчитывается на основе приоритета, полосы пропускания и другой информации о соединении. Оператор сети может устанавливать приоритеты междоменных соединений вручную. В альтернативной модели маршрутизации все междоменные соединения могут быть активными.

Протокол внутримоменной маршрутизации работает внутри домена и используется для передачи информации о префиксах в домене. Таблица переадресации, составленная механизмом внутримоменной маршрутизации, используется протоколом внутримоменной маршрутизации.

10 Процедура маршрутизации

Процедура маршрутизации PTDN определяется следующим образом.

- 1) Когда поступает пакет PTDN, узел PTDN проверяет поле защиты (2 бита, определяемые в [ITU-T Y.2613]) в поле заголовка пакета: если в поле защиты содержится код 00, применяется модель маршрутизации по кратчайшему пути; если в поле защиты содержится код 11, применяется альтернативная модель маршрутизации; если в поле защиты содержится код 01, применяется двухпутевая модель маршрутизации и для пересылки пакетов используется рабочий путь; если в поле защиты содержится код 10 – применяется двухпутевая модель маршрутизации и для пересылки пакетов используется защитный путь.
- 2) Если применяется модель маршрутизации по кратчайшему пути, то узел ищет кратчайший путь в соответствующей таблице преадресации; если найти его не удастся, то процесс маршрутизации переходит к шагу 4. Если применяется двухпутевая модель маршрутизации и поле защиты содержит код 01, то узел сначала ищет в соответствующей таблице преадресации рабочий путь; если попытка не удалась, он ищет защитный путь; если и это не удастся процесс маршрутизации переходит к шагу 4. Если поле защиты содержит код 10, то узел ищет в соответствующей таблице преадресации защитный путь; если попытка не удалась, он ищет рабочий путь; если и это не удастся – процесс маршрутизации переходит к шагу 4. Если применяется альтернативная модель маршрутизации, то в соответствующей таблице преадресации можно найти несколько путей, и теоретически узел, работающий в этой модели, может выбрать для маршрутизации пакетов несколько следующих транзитных участков и пакеты будут передаваться по пути с минимальной стоимостью. Если эта попытка не удалась, узел выбирает второй по стоимости путь и т.д. При поиске в таблице преадресации для определения следующего транзитного участка используется принцип выбора самого длинного префикса.
- 3) Когда узел нашел следующий транзитный участок в соответствующей таблице преадресации, производится передача пакетов и при каждом транзитном участке поле TTL (6 битов, определяемые в [ITU-T Y.2613]) уменьшается на единицу.
- 4) Если в соответствующей таблице преадресации нет элементов, подходящих для адреса назначения прибывшего пакета, то используется путь преадресации по умолчанию.

11 Вопросы безопасности

Существуют два аспекта обеспечения безопасности в отношении механизмов маршрутизации PTDN:

- гарантия безопасности плоскости управления;
- гарантия безопасности сетевых соединений.

11.1 Гарантия безопасности плоскости управления

Для плоскости управления PTDN, которая переносит сообщения маршрутизации, используются определенные VPN. Эти VPN поддерживают следующие функции безопасности.

- Изоляция. VPN для плоскости управления изолируются друг от друга и от других VPN, служащих для иных целей, чем плоскость управления.
- Гарантия ресурсов. Ресурсы VPN для плоскости управления абсолютно гарантированы и имеют наивысший приоритет.
- Разделение между NNI и UNI. Данные маршрутизации могут быть доступны только в пределах конкретной VPN. Неавторизованные пользователи не могут вторгаться в эти VPN.

11.2 Гарантия безопасности сетевых соединений

В PTDN имеются три механизма маршрутизации. Два из них могут обеспечивать избыточные пути соединения между концами, чтобы гарантировать сетевое соединение.

Механизм двухпутевой маршрутизации обеспечивает два полностью независимых защитных маршрута для пересылки пакетов в режиме без установления соединения. Эти два маршрута подстраховывают друг друга.

Механизм альтернативной маршрутизации обеспечивает несколько путей между каждой парой отдельных узлов РТДN в домене. Эти пути могут подстраховывать друг друга.

В некоторых случаях администратор сети РТДN может настроить статическую маршрутизацию с помощью функций управления РТДN. Этот процесс реализуется в соответствии с правилом безопасности интерфейса *M* РТДN, которое иллюстрируется в другой Рекомендации МСЭ-Т.

Никаких дополнительных рисков, связанных с этими механизмами маршрутизации, выявлено не было.

Приложение А

Вычисление пути в двухпутевой модели маршрутизации

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

А.1 Построение защитных путей

Двухпутевая модель маршрутизации в составе механизма маршрутизации РТДН обеспечивает два абсолютно независимых защитных маршрута для переадресации пакетов в режиме без установления соединения; один из них называется красным путем, а другой – синим.

Построение защитных маршрутов не требует большого объема вычислений. Для обеспечения защиты внутридоменного пути каждый узел РТДН выполняет следующие шаги.

- 1) Производит ушную декомпозицию узлов и линий связи в домене РТДН.
- 2) Генерирует номер ST для каждого узла РТДН в данном домене.
- 3) На основе ушной декомпозиции и номера ST строятся защитные маршруты – красный и синий.

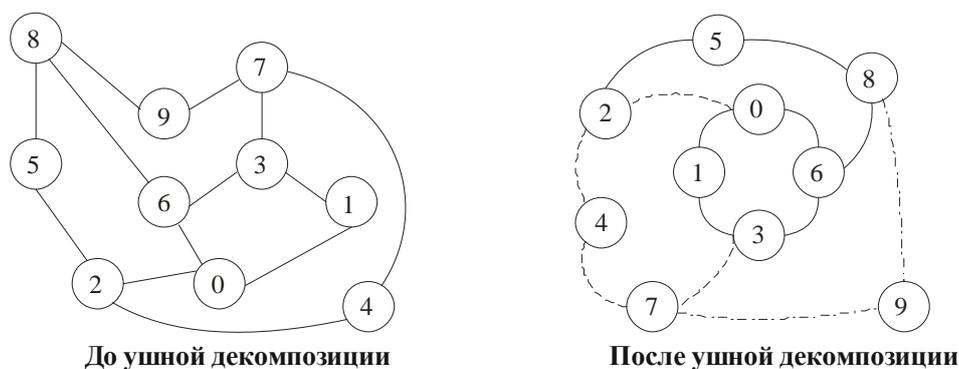
А.2 Ушная декомпозиция

Ушная декомпозиция $D = \{P_0; P_1; \dots; P_{r-1}\}$ неориентированного графа $G = (V, E)$ представляет собой разбиение E на упорядоченный набор непересекающихся по ребрам простых путей $P_0; P_1; \dots; P_{r-1}$, называемых ушами, при котором:

- P_0 – это простой цикл;
- P_i ($i > 0$) – это простой путь, конечные точки которого принадлежат ушам с меньшими номерами, причем ни одна из внутренних вершин не принадлежит ушам с меньшими номерами;
- P_i ($i > 0$) также может быть простым циклом. Цикл, состоящий из единственного ребра, называют тривиальным ухом.

Ушная декомпозиция называется открытой тогда и только тогда, когда не существует ни одного цикла P_i ($i > 0$).

На рисунке А.1 топология сети, показанная в левой части, разбита на четыре уха, как показано в правой части. Из них P_0 – это простой цикл, состоящий из узлов 0, 1, 3 и 6; P_1 состоит из узлов 2, 4 и 7, причем конечные точки 3 и 0 принадлежат уху P_0 , которое является ухом с меньшим номером по сравнению с P_1 ; P_2 состоит из узлов 5 и 8, причем конечные точки 2 и 6 принадлежат соответственно ушам P_1 и P_0 , которые являются ушами с меньшими номерами по сравнению с P_2 ; P_3 состоит из узла 9 с конечными точками 7 и 8, принадлежащими соответственно ушам P_1 и P_2 , которые являются ушами с меньшими номерами сравнению с P_3 .



Y.2615(12)_FA.1

Рисунок А.1 – Ушная декомпозиция

Ушная декомпозиция существует тогда и только тогда, когда данный граф является реберно двусвязным. В сети РТДН реберно двусвязный граф может обеспечить защиту от отказов линий связи и узлов.

Процесс ушной декомпозиции можно разделить на следующие этапы:

- 1) построение минимального связующего дерева;
- 2) укоренение минимального связующего дерева;
- 3) предварительное упорядочение минимального связующего дерева;
- 4) маркировка каждого ребра, не являющегося деревом, посредством номера младшего общего предка его конечных точек в минимальном связующем дереве, и этим ребрам присваиваются номера ушей путем их сортировки по младшему общему предку в порядке возрастания;
- 5) присвоение номеров ушей ребрам дерева.

А.3 Генерирование номеров ST

Процесс построения направленных подграфов включает в себя ориентацию ушей и получение номеров ST для каждой вершины. Номер ST используется для построения красных и синих маршрутов.

Номер ST получают посредством следующей процедуры.

- 1) В составе пути P_0 выбирают вершину с наименьшим адресом РТДН. Эта вершина помечается как v_s . Существуют две другие вершины, которые принадлежат P_0 и примыкают к вершине v_s (в силу существования открытой ушной декомпозиции и предположения о простом графе). Из них выбирают вершину с меньшим адресом РТДН, которая обозначается v_t .
- 2) Путь P_0 направлен таким образом, чтобы направление по ребру $\{v_s, v_t\}$ было от вершины v_t к вершине v_s . Направление по другим ребрам P_0 гарантирует, что P_0 образует цикл по ориентированному подграфу (то есть путь начинается с вершины v_s , проходит по внутренним вершинам P_0 и достигает v_t).
- 3) Формируется упорядоченный список (O_{st}) всех вершин в P_0 , начиная с v_s и заканчивая v_t , вдоль направленных ребер, включая все внутренние вершины P_0 (то есть не следуя по непосредственно связанным ребрам $\{v_s, v_t\}$). После включения всех ушей каждая вершина встречается в упорядоченном списке O_{st} только один раз. Номер ST для вершины используется в качестве индекса вершины в упорядоченном списке O_{st} .
- 4) Для уха P_i с вершинами u и v в $\{P_0; P_1; \dots; P_{i-1}\}$ (начало и конец уха), если индекс вершины u в упорядоченном списке O_{st} меньше индекса вершины v (то есть вершина u предшествует вершине v в списке), то ориентация уха P_i будет от u к v . Внутренние вершины уха P_i добавляются в упорядоченный список O_{st} в конкретное место после вершины u и направлены от вершины u к вершине v .
- (5) Шаг 4 повторяют до тех пор, пока не будут включены все уши.

А.4 Построение защитных маршрутов

Защитные маршруты строятся на основе ушной декомпозиции и номера ST. Правила их вычисления можно описать следующим образом.

- 1) Если красный защитный путь строится в порядке возрастания номеров ST, то синий защитный путь будет строиться в порядке убывания номеров ST, и наоборот.
- 2) Если пакеты пересылаются из узла – источника РТДН в узел назначения РТДН в порядке возрастания номеров ST, то при обратной пересылке в узел – источник РТДН пакеты пересылаются в порядке убывания номеров ST, и наоборот.

- 3) Если имеется несколько соседних узлов PTDN, номера ST которых следуют в восходящем (нисходящем) направлении, то в качестве следующего транзитного участка выбирается номер ST, ближайший к узлу назначения PTDN.
- 4) Номер ST следующего транзитного участка не должен превышать номера ST узла назначения PTDN в направлении возрастания (или убывания).

А.5 Построение базы данных о состоянии линий связи

База данных о состоянии линий связи, которая используется для вычисления красного и синего путей, создается доминирующим узлом домена на основе результата ушной декомпозиции и транслируется по всему домену. Каждый узел в домене содержит одну и ту же базу данных о состоянии линий связи. База данных о состоянии линий связи формируется на основе данных о состоянии линий связи каждого узла в домене, которые включают в себя следующие элементы.

- Тип – указывает путь, который рассчитывается с использованием состояния линий связи; 0 – синий путь, 1 – красный путь.
- Узел PTDN – сетевой адрес данного конкретного узла PTDN.
- Количество линий связи – количество линий связи, соединяющих данный узел.
- Соседний узел – сетевые адреса соседних узлов PTDN.
- Интерфейс – интерфейс, обеспечивающий соединение с соответствующим соседним узлом.
- Вес линии связи – если линия активна в составе красного (или синего) пути, то ее вес устанавливается равным 1, в противном случае вес линии связи устанавливается равным 888 (или другое большое число).

Пример состояния линий связи приведен в таблице А.1.

Таблица А.1 – Состояние линий связи узла PTDN

Тип (0 – синий путь; 1 – красный путь)
Узел PTDN (сетевой адрес данного узла PTDN)
Количество линий связи
Описание линии связи 1 (соседний узел, интерфейс, вес линии связи)
Описание линии связи 2 (соседний узел, интерфейс, вес линии связи)
.....

База данных о состоянии линий связи формируется на основе данных о состоянии линий связи всех узлов PTDN в домене. База данных о состоянии линий связи красного пути используется для вычисления красного пути, а база данных о состоянии линий связи синего пути – для вычисления синего пути.

На самом деле достаточно хранить только базу данных о состоянии линий связи синего (или красного) пути, а другую, то есть базу данных о состоянии линий связи красного пути (если хранится база данных о состоянии линий связи синего пути) или синего пути (если хранится база данных о состоянии линий связи красного пути) можно рассчитать путем инвертирования значений веса линий связи.

Пример направленных подграфов приведен на рисунке А.2, где номера ST указаны в квадратных скобках ([]). В левой части рисунка показан направленный подграф для синего пути с возрастающими номерами ST в прямом направлении, за исключением узла 0. В правой части рисунка показан направленный подграф для красного пути с уменьшающимися номерами ST в прямом направлении, за исключением узла 0. Для базы данных о состоянии линий связи синего пути активны только те линии, номер ST соседнего узла которых больше номера данного конкретного узла. Для базы данных о состоянии линий связи красного пути активны только те линии, номер ST соседнего узла которых меньше номера данного конкретного узла.

Узел 0 РТДН на рисунке А.2 может иметь состояние синих линий связи, как в таблице А.2, и состояние красных линий связи, как в таблице А.3, где веса линий связи имеют обратное значение относительно состояния синих линий связи.

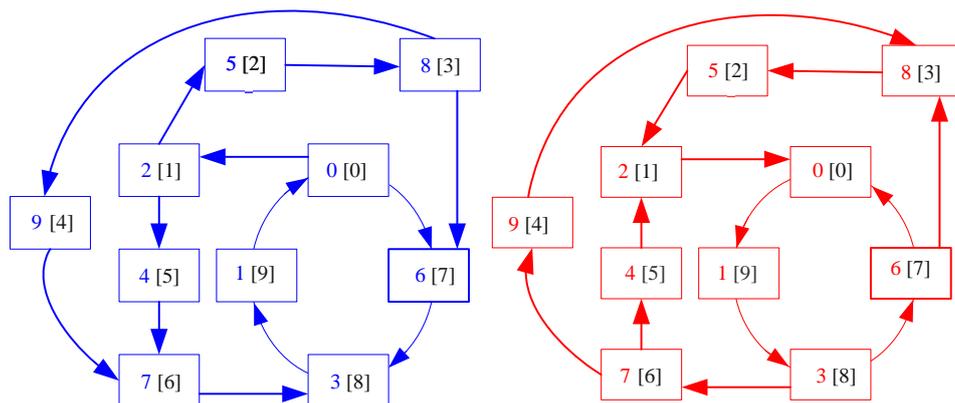


Рисунок А.2 – Направленные подграфы для синего пути (слева) и красного пути (справа)

Таблица А.2 – Состояние синих линий связи узла 0

Тип (0)
Узел РТДН (0)
Количество линий связи (0)
<i>Описание линии связи 1</i> Соседний узел 2 Интерфейс порядковый номер 0 Вес линии связи 1 (активна)
<i>Описание линии связи 2</i> Соседний узел 1 Интерфейс порядковый номер 1 Вес линии связи 888 (неактивна)
<i>Описание линии связи 3</i> Соседний узел 6 Интерфейс порядковый номер 2 Вес линии связи 1 (активна)

Таблица А.3 – Состояние красных линий связи узла 0

Тип (1)
Узел РТДН (0)
Количество линий связи (3)
<i>Описание линии связи 1</i> Соседний узел 2 Интерфейс порядковый номер 0 Вес линии связи 888 (неактивна)
<i>Описание линии связи 2</i> Соседний узел 1 Интерфейс порядковый номер 1 Вес линии связи 1 (активна)
<i>Описание линии связи 3</i> Соседний узел 6 Интерфейс порядковый номер 2 Вес линии связи 888 (неактивна)

А.6 Таблица переадресации

Таблица маршрутизации основана на базе данных о состоянии линий связи, а таблица переадресации – на таблице маршрутизации. Таблица переадресации используется для переадресации данных. В двухпутевой модели маршрутизации имеются две таблицы переадресации – для синего пути и для красного пути. Таблица переадресации включает в себя следующие элементы:

- адрес назначения – указывает адрес сети назначения или узла назначения РТДН;
- цвет – флаг цвета просто указывает, для какого пути предназначена таблица: 0 – синий путь, 1 – красный путь;
- интерфейс – указывает порядковый номер интерфейса;
- следующий транзитный участок – указывает адрес следующего транзитного участка.

Таблица переадресации для двухпутевой модели маршрутизации узла РТДН может иметь вид, как у таблицы А.4.

Таблица А.4 – Пример таблицы переадресации для двухпутевой модели маршрутизации

Адрес назначения	Цвет	Интерфейс	Следующий транзитный участок
1000 0000 0000 xxxx	Красный	Порядковый номер 0	1000 1000 0000 0012
1000 0000 0000 xxxx	Синий	Порядковый номер 1	1000 1000 0000 0008

Библиография

- [b-ITU-T G.780] Recommendation ITU-T G.780/Y.1351 (2010), *Terms and definitions for synchronous digital hierarchy (SDH) networks*
- [b-ITU-T G.870] Recommendation ITU-T G.870/Y.1352 (2012), *Terms and definitions for optical transport networks*
- [b-ITU-T G.8131] Recommendation ITU-T G.8131/Y.1382 (2007), *Linear protection switching for transport MPLS (T-MPLS) networks*
- [b-ITU-T I.322] Recommendation ITU-T I.322 (1999), *Generic protocol reference model for telecommunication networks*
- [b-ITU-T I.630] Recommendation ITU-T I.630 (1999), *ATM protection switching*
- [b-ITU-T M.2102] Recommendation ITU-T M.2102 (2000), *Maintenance thresholds and procedures for recovery mechanisms (protection and restoration) of international SDH VC trails (paths) and multiplex sections*
- [b-ITU-T X.136] Recommendation ITU-T X.136 (1997), *Accuracy and dependability performance values for public data networks when providing international packet-switched services*
- [b-ITU-T X.137] Recommendation ITU-T X.137 (1997), *Availability performance values for public data networks when providing international packet-switched services*
- [b-ITU-T X.200] Recommendation ITU-T X.200 (1994), *Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The basic model*
- [b-ITU-T X.212] Recommendation ITU-T X.212 (1995), *Information technology – Open Systems Interconnection – Data Link service definition*
- [b-ITU-T X.323] Recommendation ITU-T X.323 (1988), *General arrangements for interworking between Packet-Switched Public Data Networks (PSPDNs)*
- [b-ITU-T X.371] Recommendation ITU-T X.371/Y.1402 (2001), *General arrangements for interworking between Public Data Networks and the Internet*
- [b-ITU-T Y.1001] Recommendation ITU-T Y.1001 (2000), *IP framework – A framework for convergence of telecommunications network and IP network technologies*
- [b-ITU-T Y.1251] Recommendation ITU-T Y.1251 (2002), *General architectural model for interworking*
- [b-ITU-T Y.1720] Recommendation ITU-T Y.1720 (2006), *Protection switching for MPLS networks*
- [b-ITU-T Y.2001] Рекомендация МСЭ-Т Y.2001 (2004 год), *Общий обзор СПИ*
- [b-ITU-T Y.2011] Recommendation ITU-T Y.2011 (2004), *General principles and general reference model for Next Generation Networks*
- [b-ITU-T Y.2012] Recommendation ITU-T Y.2012 (2010), *Functional requirements and architecture of next generation networks*

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Окружающая среда и ИКТ, изменение климата, электронные отходы, энергоэффективность; конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
Серия Q	Коммутация и сигнализация, а также соответствующие измерения и испытания
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи