



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**МСЭ-Т**

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

**G.1020**

(11/2003)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,  
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Качество обслуживания и технические  
характеристики – Общие вопросы и вопросы,  
относящиеся к пользователю

---

**Определения параметров рабочих  
характеристик применительно к качеству  
речи и другим приложениям в полосе  
тональных частот, использующим IP-сети**

Рекомендация МСЭ-Т G.1020

---

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G  
**СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

|  |                      |
|--|----------------------|
| МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ   | G.100–G.199          |
| ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ   | G.200–G.299          |
| ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ  | G.300–G.399          |
| ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО РАДИОРЕЛЕЙНЫМ ИЛИ СПУТНИКОВЫМ ЛИНИЯМ И ИХ ВЗАИМНОЕ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ | G.400–G.449          |
| КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ   | G.450–G.499          |
| ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ   | G.500–G.599          |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ  | G.600–G.699          |
| ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  | G.700–G.799          |
| ЦИФРОВЫЕ СЕТИ  | G.800–G.899          |
| ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ  | G.900–G.999          |
| <b>КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ ВОПРОСЫ И ВОПРОСЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ</b>                                      | <b>G.1000–G.1999</b> |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ  | G.6000–G.6999        |
| ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  | G.7000–G.7999        |
| ЦИФРОВЫЕ СЕТИ  | G.8000–G.8999        |

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

## Рекомендация МСЭ-Т G.1020

### Определения рабочих характеристик применительно к качеству речи и другим приложениям в полосе тональных частот, использующим IP-сети

#### Резюме

Передача речи и других приложений в полосе тональных частот по пакетным сетям приводит к новым, иногда уникальным формам ухудшения качества. Существует много определений параметров рабочих характеристик пакетных сетей, однако желание контролировать качество неэластичных изохронных приложений требует дополнительной информации. Целью этой Рекомендации является определение параметров рабочих характеристик пакетной сети и терминалов, которые лучшим образом отражают воспринимаемое качество намечаемых приложений. Преимущественно в ней обращается внимание на ухудшения качества, являющиеся следствиями изменения времени задержки и потерь пакетов, которые присущи IP и другим технологиям, основанным на пакетной передаче, и которые не проявляются в традиционных сетях с временным разделением каналов (ВРК). В ней обсуждаются взаимодействия и компромиссы между этими пакетными ухудшениями, и описываются такие механизмы, как буферы для сглаживания фазовых дрожаний и маскировка потерь пакетов, для уменьшения их влияния на качество речи и другие приложения. Однако настоящая Рекомендация избегает перекрытия путем использования, где это возможно, ссылок на существующие определения.

Параметры, определенные в настоящей Рекомендации, во многих случаях распространяются за пределы уровня IP. Параметры сквозных пакетных систем (комбинация оконечных терминалов и сети) также необходимы для определения качества в полосе речевых тональных частот. В пп. 5, 6 и 7 собраны определения параметров терминалов-источников, пакетных сетей и терминалов-получателей (с общими параметрами), соответственно. В Добавлении I представлена информация о распределении потерянных пакетов и модели потерь пакетов. В Добавлении II дается пример эмулятора буфера для адаптивного сглаживания фазового дрожания.

#### Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.1020 утверждена 13 ноября 2003 года 12-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации А.8 МСЭ-Т.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. 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.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет 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.

Соответствие положениям данной Рекомендации является добровольным делом. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (для обеспечения, например, возможности взаимодействия или применимости), и тогда соответствие данной Рекомендации достигается в том случае, если выполняются все эти обязательные положения. Для выражения требований используются слова "shall" ("должен", "обязан") или некоторые другие обязывающие термины, такие как "must" ("должен"), а также их отрицательные эквиваленты. Использование таких слов не предполагает, что соответствие данной Рекомендации требуется от каждой стороны.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© МСЭ 2004

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  | Стр. |
|--|------|
| 1 Область применения .....   | 1    |
| 2 Ссылки .....   | 3    |
| 3 Определения .....  | 3    |
| 4 Сокращения .....   | 4    |
| 5 Параметры пакетов терминала источника .....  | 5    |
| 5.1 Точность тактовой частоты при аналого/цифровом преобразовании<br>(автономный режим) .....          | 5    |
| 5.2 Величина информационного поля пакета .....   | 6    |
| 5.3 Служебная информация в пакете .....  | 6    |
| 5.4 Задержка в терминале источника .....   | 6    |
| 5.5 Изменения задержки в терминале источника .....   | 6    |
| 6 Рабочие параметры пакетных сетей .....   | 7    |
| 6.1 Краткий обзор рабочих параметров сети .....  | 7    |
| 6.2 Рекомендуемые дополнительные параметры сети .....  | 7    |
| 7 Терминал получателя и общие параметры пакета .....   | 9    |
| 7.1 Порядок обработки пакетов получателя .....   | 9    |
| 7.2 Систематика типов/параметров и моделей буферов для сглаживания<br>фазового дрожания .....          | 10   |
| 7.3 Система со смещением частоты, использующая в качестве опорной<br>тактовую частоту получателя ..... | 13   |
| 7.4 Маскирование потерь пакетов (тип, задержка) .....  | 14   |
| 7.5 Общая задержка (включающая источник, сеть и получателя) .....                                      | 14   |
| 7.6 Неравномерности временной шкалы после сглаживания фазового<br>дрожания и в потоке PLC .....        | 15   |
| 7.7 Общие (кадр/пакет) потери (включая сеть и получателя) .....  | 15   |
| Добавление I – Распределения потерь пакетов и модели потерь пакетов .....                              | 16   |
| I.1 Введение .....   | 16   |
| I.2 Общие модели потерь пакетов .....  | 16   |
| I.3 Примерная трасса прохождения пакета .....  | 18   |
| I.4 Литература к Добавлению I .....  | 19   |
| Добавление II – Примерный эмулятор адаптивного буфера для сглаживания<br>дрожания .....                | 20   |
| Добавление III – ЛИТЕРАТУРА .....  | 22   |

## **Введение**

Передача речи и других приложений в полосе тональных частот по пакетным сетям приводит к новым, иногда уникальным формам ухудшения качества. Существует много определений параметров рабочих характеристик пакетных сетей, однако желание контролировать качество неэластичных изохронных приложений требует дополнительной информации. Целью этой Рекомендации является определение параметров рабочих характеристик пакетной сети и терминалов, которые лучшим образом отражают воспринимаемое качество намечаемых приложений, которые во многих случаях распространяются за пределы уровня IP. Параметры сквозных пакетных систем (комбинация оконечных терминалов и сети) также необходимы для определения качества в полосе речевых тональных частот, и в настоящей Рекомендации они также определяются.

## Рекомендация МСЭ-Т G.1020

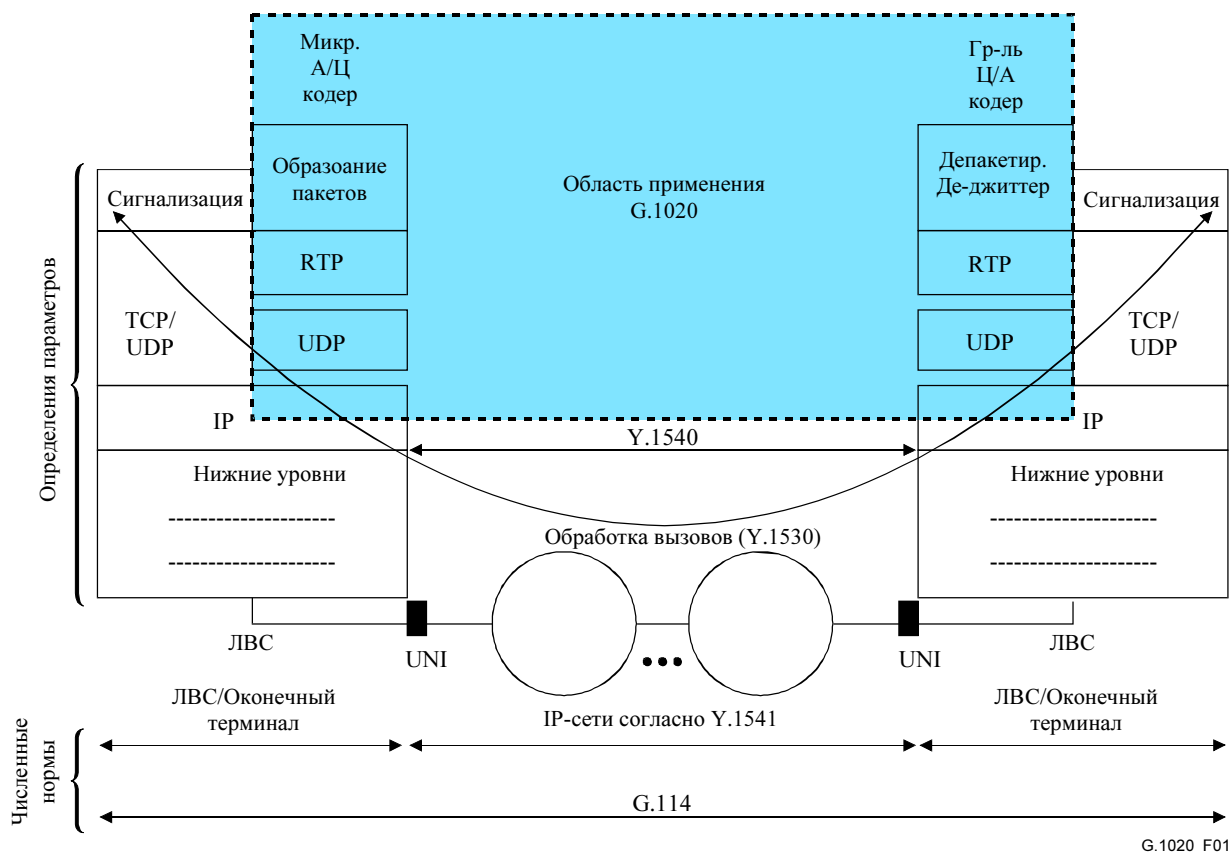
### Определения рабочих характеристик применительно к качеству речи и другим приложениям в полосе тональных частот, использующим IP-сети

#### 1 Область применения

В настоящей Рекомендации определяется совокупность параметров рабочих характеристик пакетных сетей и оконечных терминалов, которая может помочь в количественной оценке качества сквозной передачи речи и других приложений в полосе тональных частот. Преимущественно в ней обращается внимание на ухудшения качества, являющиеся следствиями изменения времени задержки и потерь пакетов, которые присущи IP и другим технологиям, основанным на пакетной передаче, и которые не проявляются в традиционных сетях с временным разделением каналов (ВРК). В ней обсуждаются взаимодействия и компромиссы между этими пакетными ухудшениями и описываются механизмы, такие как буферы для сглаживания фазовых дрожаний и маскировка потерь пакетов, для уменьшения их влияния на качество речи и другие приложения.

В данной Рекомендации приводятся существующие определения параметров рабочих характеристик, причем избегается дублирование. Многие факторы, которые определяют качество речи и приложений в полосе тональных частот, являются общими для сетей, основанных как на ВРК, так и IP, и рассматриваются в существующих Рекомендациях. На языке Рекомендации МСЭ-Т I.350 область применения настоящей Рекомендации ограничена функцией переноса информации матрицы  $3 \times 3$ , и только к несущему каналу. Вопросы обработки вызовов для доступа к соединению и разъединению (например, задержки вызывного тонального сигнала и задержки после набора номера) в настоящей Рекомендации не рассматриваются. Кроме того, в настоящей Рекомендации не устанавливаются численные нормы для пакетных сетей или оконечных терминалов, несмотря на то, что они будут предметом следующей работы.

На рисунке 1 показана эта область применения вместе с некоторыми другими спецификациями и их зонами охвата. В настоящей Рекомендации определяются только те параметры, которые описывают ухудшения пакетного терминала и пакетной передачи и являются уникальными по отношению к оценке качества приложений в полосе тональных частот.



**Рисунок 1/G.1020 – Область применения Рекомендации МСЭ-Т G.1020 по отношению к другим спецификациям рабочих характеристик**

Следует отметить, что количество IP-сетей между терминалами в этих определениях не ограничено.

Другие Рекомендации МСЭ-Т дополняют параметры, представленные в настоящей Рекомендации. Например, планирование передачи через гибридные соединения Интернет/ТСОП рассматривается в Рекомендации МСЭ-Т G.177. Тем не менее, в других Рекомендациях такие параметры определяются в контексте оценки рабочих характеристик переноса IP-пакетов в международных службах передачи данных (например, Рекомендация МСЭ-Т Y.1540). Нормы рабочих сетевых характеристик для различных классов QoS услуг основанных на IP, описаны в Рекомендации МСЭ-Т Y.1541, а нормы односторонних сквозных задержек установлены в Рекомендации МСЭ-Т G.114.

Ожидаются новые Рекомендации, которые дополняют Рекомендацию МСЭ-Т G.1020. Вопросы обработки вызовов соединения находятся в процессе разработки. В настоящее время МСЭ-Т работает над новыми Рекомендациями, относящихся к ситуациям, когда сеть представляет собой, главным образом, IP-сеть с островками ТСОП, и когда сеть представляет собой, главным образом, сеть ТСОП с островками IP. И наконец, МСЭ-Т работает над установлением норм рабочих характеристик терминалов и шлюзов VoIP, и методов оценки рабочих характеристик путем измерения метрик, относящихся к сквозному качеству VoIP.

Определения параметров пакетной передачи, которые для сетей АТМ являются уникальными, явно выходят за пределы рассмотрения настоящей Рекомендации.

Настоящая Рекомендация должна быть особенно полезной в той области голосовой связи по IP (VoIP), в которой хотят достичь лучшего понимания факторов, влияющих на качество этих систем электросвязи. Разработчики оборудования электросвязи могут использовать параметры, определенные в настоящей Рекомендации, для установления необходимых аспектов их вклада в сквозные рабочие характеристики. Поставщики услуг могут использовать эти параметры для эффективного обобщения рабочих характеристик решений IP-сетей.



## 2 Ссылки

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники 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 являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- ITU-T Recommendation G.107 (2003), *The E-model, a computational model for use in transmission planning*.
- ITU-T Recommendation G.113 (2001), *Transmission impairments due to speech processing*.
- ITU-T Recommendation G.114 (2003), *One-way transmission time*.
- ITU-T Recommendation G.177 (1999), *Transmission planning for voiceband services over hybrid Internet/PSTN connections*.
- ITU-T Recommendation I.356 (2000), *B-ISDN ATM layer cell transfer performance*.
- ITU-T Recommendation P.51 (1996), *Artificial mouth*.
- ITU-T Recommendation P.57 (2002), *Artificial ears*.
- ITU-T Recommendation Y.1540 (2002), *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*.
- ITU-T Recommendation Y.1541 (2002), *Network performance objectives for IP-based services*.

## 3 Определения

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

**3.1 эталонная точка уха:** Виртуальная точка для геометрического эталона, находящаяся у входа в ухо слушающего, традиционно используемая для вычисления показателей телефонметрической громкости [P.57].

**3.2 входная измерительная точка терминала:** Измерительная точка в физической среде, соединяющая терминал с IP-сетью, которая пересекается, когда IP-пакеты покидают IP-сеть и входят в терминал. Эта измерительная точка находится как можно ближе к терминалу.

**3.3 IP-терминал:** Оконечное устройство, предназначенное для соединения с IP-сетью с целью поддержки речевой связи. Эти устройства могут быть специализированными (например, телефонный аппарат) или общего назначения (например, компьютер, выполняющий приложение, которое осуществляет функции терминала).

**3.4 выходная эталонная точка терминала:** Измерительная точка в физической среде, соединяющая терминал с IP-сетью, которая пересекается, когда IP-пакеты покидают терминал и входят в IP-сеть. Эта измерительная точка находится как можно ближе к терминалу.

**3.5 буфер для сглаживания фазового дрожания (де-джиттер):** Буфер, предназначенный для удаления изменений задержки (то есть фазового дрожания) в моменты поступления пакетов. Данные помещаются в буфер для сглаживания фазового дрожания с переменной скоростью (то есть всякий раз, когда они принимаются от сети) и выбираются из него с постоянной скоростью.

**3.6 эталонная точка рта:** Точка на эталонной оси на расстоянии 25 мм перед плоскостью губ [P.51].

**3.7 сигнал в реальном времени:** Сигнал, точно представляющий акустический или электрический сигналы во временной области.

**3.8 приемная электрическая эталонная точка:** Эталонная электрическая точка, которая эквивалентна эталонной точке уха с точки зрения измерения задержки в терминале.

**3.9 передающая электрическая эталонная точка:** Эталонная электрическая точка, которая эквивалентна эталонной точке рта с точки зрения измерения задержки в терминале.

#### 4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

|         |   |   |
|---------|---|---|
| АЦП     | Analogue-to-Digital Converter (ADC)                 | Аналогово/цифровой преобразователь                      |
| ВРК     | Time Division Multiplex (TDM)                       | Временное разделение каналов                            |
| ТСОП    | Public Switched Telephone Network (PSTN)            | Коммутируемая телефонная сеть общего пользования        |
| ЦАП     | Digital-to-Analogue Converter (DAC)                 | Цифро/аналоговый преобразователь                        |
| АТМ     | Asynchronous Transfer Mode                          | Асинхронный режим передачи                              |
| DSCP    | Differentiated Services Code Point                  | Кодовая точка дифференцированных услуг                  |
| Dst     | Destination   | Место назначения (Получатель)                           |
| HDLC    | High-level Data Link Control                        | Высокоуровневое управление каналом данных               |
| IETF    | Internet Engineering Task Force                     | Целевая группа по инженерным проблемам Интернет         |
| IP      | Internet Protocol                                   | Межсетевой протокол                                     |
| IPErr   | Errored IP Packet Count                             | Количество IP-пакетов, пораженных ошибками              |
| IPv4    | Internet Protocol version 4                         | Межсетевой протокол версии 4                            |
| IPv6    | Internet Protocol version 6                         | Межсетевой протокол версии 6                            |
| IPER    | IP Packet Error Ratio                               | Коэффициент ошибочных IP-пакетов                        |
| IPLR    | IP Packet Loss Ratio                                | Коэффициент потерянных IP-пакетов                       |
| IPPM    | IP Performance Metrics working group                | Рабочая группа по метрикам рабочих характеристик IP     |
| IPRE    | IP packet transfer Reference Event                  | Эталонное событие передачи IP-пакета                    |
| IPSLB   | IP Packet Severe Loss Block                         | Жесткая блокировка потерь IP-пакетов                    |
| IPSLBR  | IP Packet Severe Loss Block Ratio                   | Коэффициент жесткой блокировки потерь IP-пакетов        |
| IPTD    | IP Packet Transfer Delay                            | Задержка передачи IP-пакетов                            |
| MAPDV2  | Mean Absolute Packet Delay Variation 2              | Среднее изменение 2 абсолютной задержки пакетов         |
| NA      | Not Available                                       | Нет данных  |
| QoS     | Quality of Service                                  | Качество обслуживания                                   |
| RFC     | Request For Comments                                | Запрос на комментарий                                   |
| RSVP-TE | Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering | Протокол резервирования ресурсов – Планирование трафика |
| RTP     | Real-time Transport Protocol                        | Транспортный протокол в реальном времени                |
| RTPerr  | Errored RTP Packet Count                            | Количество RTP-пакетов, пораженных ошибками             |
| RTCP    | Real-time Transport Control Protocol                | Протокол управления передачей в реальном времени        |
| SPR     | Spurious Packet Ratio                               | Коэффициент ложных пакетов                              |
| Src     | Source  | Источник  |
| UDP     | User Datagram Protocol                              | Протокол дейтаграммы пользователя                       |

|        |                          |   |
|--------|--------------------------|---|
| UDPErr | Errored UDP Packet Count | Количество UDP-пакетов, пораженных ошибками |
| UNI    | User-Network Interface   | Интерфейс пользователь–сеть                 |

## 5 Параметры пакетов терминала источника

В этом пункте приводятся необходимые параметры пакетов передающего терминала, которые оказывают прямое влияние на воспринимаемое качество речи и приложений в полосе тональных частот. На рисунке 2 показаны положения измерительных точек и составных элементов системы.

### 5.1 Точность тактовой частоты при аналого/цифровом преобразовании (автономный режим)

Относительное смещение тактовой частоты может быть описано как:

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{номин.}}} = \frac{f_{\text{измер.}} - f_{\text{номин.}}}{f_{\text{номин.}}}$$

Ошибку измеренной частоты следует минимизировать, поэтому для измерения предпочтительно использовать атомный эталон частоты (номинальная частота должна быть практически равной идеальной).

Может быть также приведена, если известна, долгосрочная (или до конца срока службы) технологическая точность тактового генератора (например, кварцевого кристалла), поскольку она устанавливает верхнюю границу смещения частоты.

Предположим, например, что номинальная частота генератора для аналогово/цифрового преобразования равна 8000 Гц. Измерение на генераторе терминала источника показывает частоту 8000,0027 Гц. Тогда относительное смещение частоты равняется  $0,0027/8000 = 3,38 \times 10^{-7}$ . Исходя из технических условий в отношении точности, интеллектуальные кварцевые генераторы могут обычно достигать относительного смещения частоты  $1 \times 10^{-6}$ .

Заметим, что должна иметься возможность делать вывод о передаваемой тактовой частоте, исходя из измерений скорости пакетов источника (при благоприятных обстоятельствах, например, когда блокируется подавление молчания). Это дало бы возможность измерения с использованием внешних сигналов. Данный метод оставлен для дальнейшего изучения.

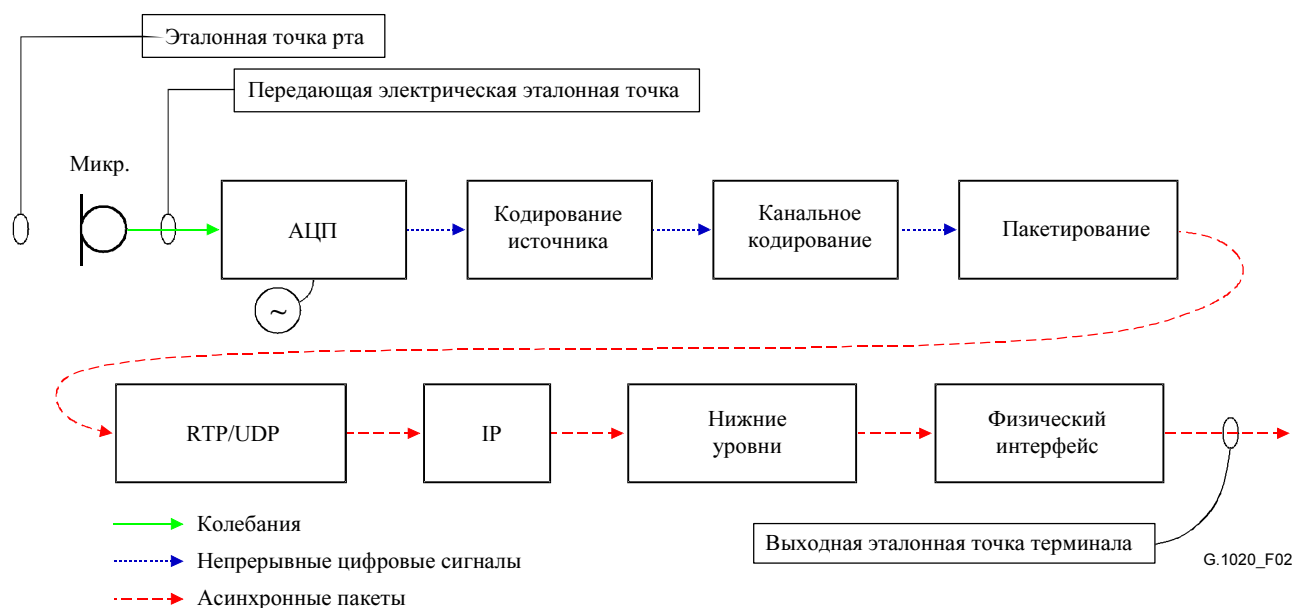


Рисунок 2/G.1020 – Блок-схема терминала источника и эталонные точки

## 5.2 Величина информационного поля пакета

Величина информационного поля пакета, определяет количество кодированных колебаний тональных частот, которые содержатся в пакете. Эта величина может быть выражена однозначно с использованием необходимого количества следующих единиц измерения,:

- 1) Количество 8-битных октетов кодированных тональных сигналов и вспомогательной информации (например, бит, связанный с упреждающим исправлением ошибок, для содействия маскированию потерь пакетов, или биты, связанные с шифрованием).
- 2) Количество кадров кодера (конкретный кодер и исходная величина кадра также должны быть определены).
- 3) Количество периодов времени непрерывных колебаний, представленное кодированными битами в данном поле.

Типичные информационные поля содержат один или два кадра кодера и объединяют периоды времени колебаний, равные 10 или 20 мс, в одном пакете. В Приложении A/G.114 представлено руководство по вычислению задержки для различных кодеров и величин информационных полей пакетов.

## 5.3 Служебная информация в пакете

Полное количество октетов, добавляемых к информационному полю пакета, следует считать отдельно для заголовка каждого уровня протокола. Полное количество октетов, предназначенных для неинформационных заголовков, может быть посчитано в виде выходов пакетов в выходной эталонной точке терминала, и, следовательно, включая влияние сжатия заголовков, если таковое используется. Размер октетов в пакетах, предназначенных для управления медийным потоком информации, отчетов о статусах/рабочих характеристиках (например, RTCP), или в других пакетах, переносящих информацию не в медийном режиме, следует считать отдельно. Некоторыми типичными источниками служебной информации (в октетах) являются:

|                   |    |     |   |      |    |      |    |
|-------------------|----|-----|---|------|----|------|----|
| RTP               | 12 | UDP | 8 | IPv4 | 20 | IPv6 | 40 |
| HDLC Инкапсуляция |    |     | 8 | Flag | 1  |      |    |

## 5.4 Задержка в терминале источника

Задержка в терминале источника представляет собой интервал, определенный временем, когда сигнал входит в эталонную точку рта, и временем, когда первый бит соответствующего кодированного, пакетированного сигнала на входе поступает в терминальную выходную эталонную точку. При необходимости передающая электрическая эталонная точка может заменить эталонную точку рта. По определению, задержка в терминале источника включает полное время пакетирования/депакетирования, а испытательные колебания и методы должны поддерживать достаточную информацию для оценки изменения времени пакетирования вследствие выравнивания испытательного сигнала и границ пакетов. Например, испытательный сигнал должен иметь достаточную длину, чтобы перекрыть границы пакетов, позволяя своевременно производить идентификацию границ. При этом следует использовать часть сигнала, которая переносится предшествовавшей частью полезной нагрузки пакета.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эта задержка может включать изменения задержки в терминале источника, если таковые присутствуют, а соответствующие статистики следует прикладывать для обобщения данных изменений.

## 5.5 Изменения задержки в терминале источника

Фундаментальное понятие об 1-точечном параметре изменений задержки представляет собой сравнение модели действительной выдачи пакетов и модели предполагаемой (обычно периодической) выдачи. Некоторые варианты настоящего определения включают подстройку "срывающейся тактовой синхронизации", как в Рекомендации МСЭ-Т I.356.

Изменения задержки в терминале источника определяются как разность времени между выдачей первого бита пакета в выходной эталонной точке терминала и идеальным периодическим эталонным временем. Для первого пакета в потоке идеальное периодическое эталонное время устанавливается равным времени выдачи. Последующие выдачи пакетов сравниваются с этим периодическим эталонным временем, как показано ниже:

Изменение задержки в терминале источника =  $t(packet\_n) - t(reference\_packet\_n)$ ,

где  $t(reference\_packet\_n)$  представляет собой время выдачи  $packet\_n$  в идеальном периодическом эталонном потоке. При этом должен предоставляться временной интервал измерений вместе с соответствующей статистикой.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Большой интервал измерений может приводить к нежелательным явлениям смещения частоты источника. Изменения вследствие смещения частоты источника должны по возможности отмечаться и удаляться как ошибка измерений.

## 6 Рабочие параметры пакетных сетей

Стандарты рабочих характеристик передачи пакетов уровня IP (см., например Рекомендации МСЭ-Т Y.1540, Y.1541 и IETF RFCs 2330, 2678–2681, 3357 и 3393) включают следующие параметры: задержка при односторонней передаче, изменения задержки и потеря пакетов. Эти параметры должны быть отображены на прикладном уровне для адекватной оценки влияния на пользователя.

### 6.1 Краткий обзор рабочих параметров сети

Рабочие параметры IP-сети, относящиеся к настоящей Рекомендации, и взаимосвязи между параметрами сети и терминалов, которые формируют основу параметров всей системы, сведены в таблицу 1. Слева направо в каждом ряду приводится параметр и указывается, как он может быть объединен с другими параметрами для получения конкретного общего рабочего параметра для одного аспекта сквозного качества в сети или качества передачи от пользователя к пользователю (хотя точные формулы приведены в последующих пунктах).

**Таблица 1/G.1020 – Краткий обзор рабочих параметров IP-сети и их отображение в общие/пользователь–пользователь параметры**

| Параметр IP-сети (Примечание)  | Переход к общему параметру  | Общий параметр  |
|--|---|---|
| Задержка передачи (IPTD, средняя)                                      | IPTD + задержка Src + задержка Dst  | Средняя задержка пользователь–пользователь                |
| Изменения задержки (IPDV, процентиль 99,9% минус минимум)              | Объединить с распределением изменения задержки Src  | Влияет на задержку Dst или потерю аудиокадров             |
| Скачок задержки (возможно зарегистрированный, например в RFC 3393)     | Может вызываться изменением трассы/устройства в сети или может появляться только на выходе буфера, сглаживающего фазовое дрожание | Неоднородность временной шкалы аудиокадров                |
| Ошибочные пакеты (заголовки)   | IPErr + UDPErr + RTPErr ⇒   | Потеря аудиокадров (отбрасывание пакета или кадра кодека) |
| Перестроенный пакет (Добавление VII/Y.1540)                            | (может считаться потерянным) ⇒  | Потеря аудиокадров  |
| Потерянный пакет   | Потеря IP-пакета + (все аудиодефекты) ⇒   | Потеря аудиокадров (предварительное маскирование)         |
| Жесткая блокировка потерь IP-пакетов (IPSLB)                           | (зависит от длительности блока)   | Отключение соединения                                     |
| Потерянные комбинации (например, RFC 3357)                             | Потеря/поступление полного потока ⇒   | Длина пачки/потеря последующего пакета                    |
| Скорость пакетов (получена из других системных характеристик)          | Разность между генераторами АЦП и ЦАП терминалов источника и получателя   | Смещение частоты системы (относительно получателя)        |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Из Рекомендации МСЭ-Т Y.1540, кроме отмеченных сведений. |   |   |

### 6.2 Рекомендуемые дополнительные параметры сети

Все основополагающие выводы по отдельным пакетам определены в Рекомендации МСЭ-Т Y.1540 (IETF RFCs перечислены в разделе "Литература"). Однако можно получить дополнительные интересные параметры, если учитывать потоки или трафики пакетов, как при планировании и измерении VoIP.

### 6.2.1 Событие потери последующего пакета

В случаях, когда последующие пакеты, передаваемые в периодическом потоке (например, в соответствии с RFC 3432), согласно определению результата потери пакета в Рекомендации МСЭ-Т Y.1540, определены как потерянные, продолжительность события следует устанавливать равной количеству пакетов, потерянных в последовательности. Эту продолжительность следует записывать отдельно для каждого события. Если при последующих измерениях выявляются события в виде последовательных множественных потерь, подсчет продолжительности каждого события также следует зарегистрировать. При этом измерения могут помочь номера последовательности, содержащиеся в заголовках пакетов.

### 6.2.2 Ухудшенная секунда

Итог по ухудшенным секундам получается для блока пакетов, наблюдаемых в течение 1-секундного интервала, когда отношение потерянных пакетов на выходе UNI к общему количеству пакетов на входе UNI в течение соответствующего секундного интервала превышает D%. Для облегчения этого измерения могут быть использованы последовательные номера и временные метки, содержащиеся в заголовках пакетов.

Предварительно значение D устанавливается равным 15% и может изменяться на основе полученного опыта или исследования. Например, если в потоке пакетов, состоящем из количеством 50 пакетов в секунду, произойдет 8 потерь (16%), качество будет ухудшено независимо от того, происходят ли потери последовательно, или распределены в течение секунды.

### 6.2.3 Количественное определение кратковременных изменений задержки IP-пакетов/дрожания фазы

В последующих пунктах представлены два подхода к количественной оценке кратковременного фазового дрожания. При наличии распределения задержек в течение коротких интервалов рекомендуется первый подход, основанный на краткосрочном интервале. Однако, если известна полная временная серия изменений задержки, то тогда подход, основанный на изменении абсолютной задержки пакетов, может предоставить дополнительную информацию.

#### 6.2.3.1 Подход, основанный на краткосрочном интервале

Настоящее определение совместимо с Добавлением П/У.1541.

Краткосрочное изменение задержки IP-пакетов определяется как максимальная IPTD минус минимальная IPTD в течение заданного короткого интервала измерений.

$$IPDV_{Short\_Term} = IPTD_{max} - IPTD_{min},$$

где:

$IPTD_{max}$  – максимальная IPTD, записанная в течение короткого интервала измерений;

$IPTD_{min}$  – минимальная IPTD, записанная в течение короткого интервала измерений.

Это простой и достаточно точный метод вычисления IPDV в реальном времени. Длина *короткого* интервала измерений подлежит дальнейшему изучению. Продолжительность интервала измерений влияет на способность метрики улавливать изменения низкой и высокой частоты в характеристиках задержки IP-пакетов.

Для совместимости с другими определениями параметров в настоящей Рекомендации условно устанавливается интервал измерений равный 1 секунде.

Многие значения  $IPDV_{Short\_Term}$  измеряются в течение более длительного временного интервала (содержащего много коротких интервалов измерений). Предполагается, что 99,9-й перцентиль этих значений  $IPDV_{Short\_Term}$  соответствует значению 50 мс в Рекомендации МСЭ-Т Y.1541 (отметим, что эта норма была установлена для 1-минутного интервала измерений и данный перцентиль оценивается на по-пакетной основе, исходя из скорости передачи 50-пакетов в секунду или выше).

В качестве примера предположим, что за 20 минут собраны 1200 односекундных измерений  $IPDV_{Short\_Term}$ . Если два или более измерения  $IPDV_{Short\_Term}$  превышают 50 мс, то данная норма из Y.1541 может не достигаться в течение нескольких интервалов, что подтверждает более точную оценку этой нормы.

### 6.2.3.2 Подход, основанный на среднем изменении абсолютной задержки пакетов

Альтернативный подход состоит в определении среднего изменения абсолютной задержки пакетов в отношении краткосрочной средней или минимальной величины – именуемого здесь *изменением подстроенной абсолютной задержки пакета*. Это может обеспечить более тесную связь с поведением буфера для сглаживания фазового дрожания.

Кратковременное фазовое дрожание вычисляется для текущего пакета ( $i$ ), задержка которого обозначается как  $t_i$ . Значение задержки для пакета ( $i$ ) сравнивается с текущей оценкой средней задержки (используя задержки 16 предшествующих пакетов) и ему приписывается или положительное или отрицательное значение отклонения.

$$\text{Средняя задержка } D_i = (15 \times D_{i-1} + t_{i-1}) / 16$$

Положительное отклонение  $P_i = t_i - D_i$ , если  $t_i > D_i$  (по  $N_i$  нет данных)

Отрицательное отклонение  $N_i = D_i - t_i$ , если  $t_i < D_i$  (по  $P_i$  нет данных)

если  $t_i = D_i$ , то по  $P_i$  и  $N_i$  нет данных.

Мы вычисляем среднее изменение 2 абсолютной задержки пакетов ( $MAPDV2$ ) для пакета ( $i$ ) как:

$$MAPDV2 = \text{среднее}(P_i) + \text{среднее}(N_i),$$

где среднее ( $P_i$ ) является общим  $P$ , включающим текущий пакет.

## 7 Терминал получателя и общие параметры пакета

В данном пункте приводятся необходимые параметры пакетов в терминале получателя, которые оказывают непосредственное влияние на воспринимаемое качество речи и приложений в полосе тональных частот, и устанавливаются общие параметры пакетов. На рисунке 3 показаны положения измерительных точек и элементов, составляющих систему.

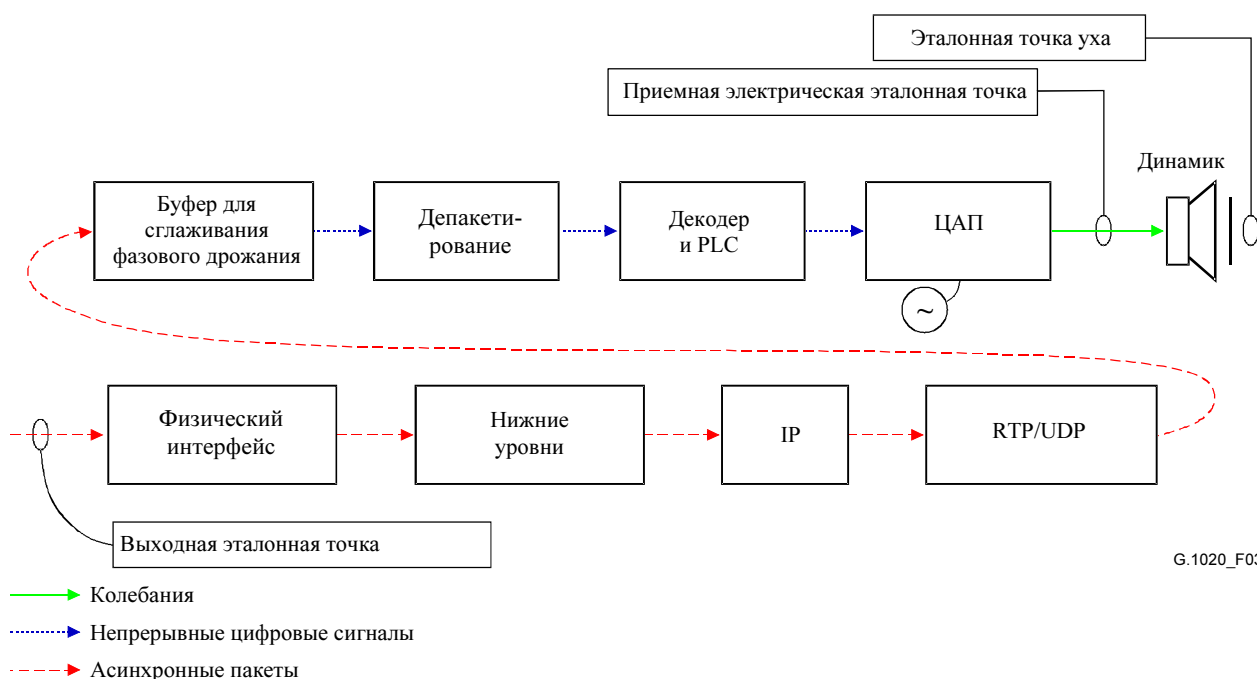
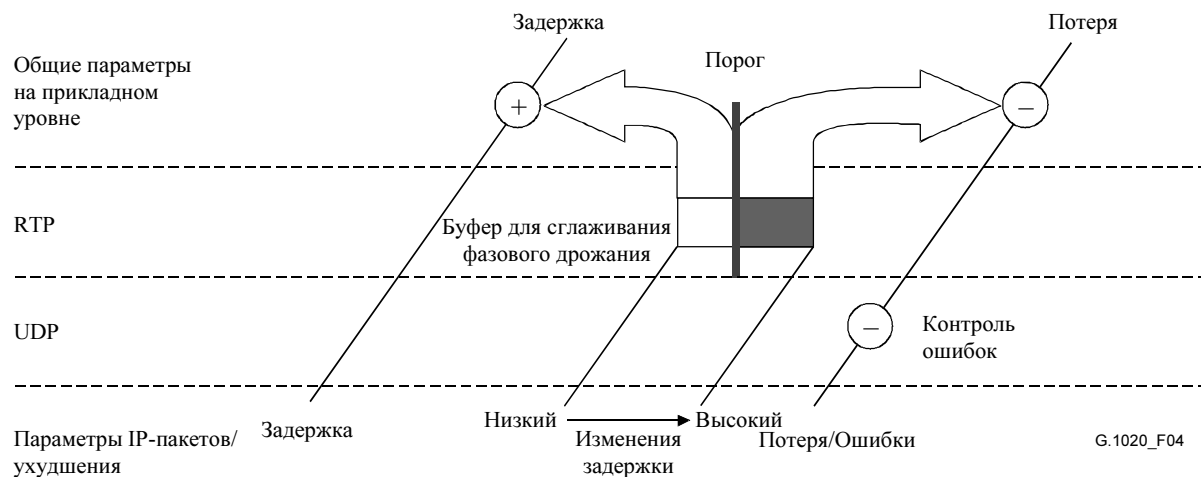


Рисунок 3/G.1020 – Составные элементы терминала получателя

### 7.1 Порядок обработки пакетов получателя

На рисунке 4 отображен процесс, посредством которого параметры/ухудшения IP-пакета (задержка передачи, изменения задержки и потеря пакета и ошибки) могут быть отображены на прикладном уровне в единицах общих значений потерь и задержки.



**Рисунок 4/G.1020 – Отображение рабочих характеристик IP-пакетов на прикладном уровне**

В нижней части рисунка пакеты прибывают с различными ухудшениями, вызванными терминалом источника, сетью, или вообще не прибывают (потеряны). Прибывающие пакеты обрабатываются по мере их продвижения по стеку протокола, с тем чтобы удалить как можно больше ухудшений. Показывается, что некоторые виды ухудшений (ошибки, фазовое дрожание) преобразуются в другие ухудшения (общие потери, общая задержка).

На рисунке 4 демонстрируется компромисс между задержкой и потерями на прикладном уровне, представленный в виде порога в диапазоне изменений задержки, основанном на размере буфера для сглаживания фазового дрожания. Пакеты с изменением задержки, находящейся в "белой" зоне принимаются, тогда как пакеты с большими изменениями (в "черной" зоне) будут отброшены. Большой буфер для сглаживания фазового дрожания может приспособляться к пакетам с большими изменениями задержки, следовательно, за счет увеличения общей задержки будет потеряно немного пакетов. И наоборот, меньший буфер для сглаживания фазового дрожания будет создавать меньшую общую задержку, но приводить к отбрасыванию терминалом большей части пакетов и увеличивать общие потери.

## 7.2 Систематика типов/параметров и моделей буферов для сглаживания фазового дрожания

Существуют два основных типа буферов для сглаживания фазового дрожания – фиксированной длины и адаптивной длины. Буферы для сглаживания фазового дрожания могут быть построены с использованием разных способов, приведенных в таблице 2. Значения параметров, примененных в буфере для сглаживания фазового дрожания, должны быть известны для оценки рабочих характеристик системы.



**Таблица 2/G.1020 – Типы и параметры буфера для сглаживания фазового дрожания**

| Тип                          | Атрибуты  | Возможности   |  |
|------------------------------|---|---|--|
| Фиксированный и (адаптивный) | Размер (конфигурируется максимальная и номинальная или минимальная) | Целое количество пакетов  | Дробное количество пакетов   |
| Адаптивный                   | Управление  | Синхронизированное ослабление при отсутствии переполнения/ антипереполнения | Оценить коэффициент потерь (конфигурировать приемлемый наименьший порог и минимальный счет пакетов между подстройками) |
|                              | Подстройка  | Синхронизированная  | Только в промежутках молчания  |
|                              | Инициализация   | Первый пакет  | Малая выборка  |
|                              | Неравномерность подстройки  | Размер пакета   | Дробная часть пакета   |
|                              | Восстановление порядка пакетов                                      | Да  | Нет  |
|                              | Режим передачи данных в полосе тональных частот                     | Обнаружение тональной частоты 2100 Гц, установка максимальной длины         | Нет  |

### 7.2.1 Задержка в терминале получателя и оценка потерь

Основной причиной задержек являются нестабильные источники. В данном пункте показывается, как происходит перекрытие размера буфера для сглаживания фазового дрожания и изменений задержки IP-пакета и как тщательно надо накапливать конкретную статистику задержек, с тем чтобы достичь хороших результатов по задержке.



G.1020\_F05

**Рисунок 5/G.1020 – Задержка в пакетных сетях и сетевых элементах**

На рисунке 5 показаны некоторые элементы VoIP-тракта, которые вносят вклад в сквозную задержку. В передатчике время пакетирования может быть существенным. Задержка из-за прохождения пакетами по сети обычно бывает переменной. В приемнике для компенсации изменений задержки и доставки непрерывного потока полезной нагрузки существует буфер для сглаживания фазового дрожания. Заметим, что пакеты с минимальной задержкой в источнике и сети, проводят максимальное время в буфере для сглаживания фазового дрожания; и наоборот, пакеты, которые задерживаются дольше минимального времени, проводят затем в данном буфере меньшее время. Кроме того, существует еще и некоторое минимальное количество времени, которое каждый пакет должен проводить в буфере приемника, которое может быть столь же велико, как и целый пакет.

В последующих пунктах приведен обзор процесса объединения потерь на уровне IP и задержек с дополнительным вкладом от высокоуровневых функций терминала получателя, таких как буфер для сглаживания фазового дрожания.

### 7.2.1.1 Потери

В зависимости от типа буфера для сглаживания фазового дрожания должны существовать некоторые критерии для определения, принимается или отбрасывается каждый конкретный пакет из потока. Данный результат может полностью изменить распределение общих потерь пакетов. Например, если случайные битовые ошибки вызывают ошибки в контрольной сумме UDP, то потери пакетов будут иметь случайное распределение, по мере того как они поступают на прикладной уровень. Но, если несколько последовательных пакетов испытывают чрезмерные задержки, то дополнительные отбрасывания, вызванные ограничениями буфера для сглаживания фазового дрожания, сделают общее распределение потерь скорее прерывистым ("bursty"), чем случайным. Вследствие этого, должна иметь место категоризация распределения потерь пакетов на прикладном уровне (с использованием методов, таких как в Добавлении I, или коэффициента пачек импульсов, см. Добавление I/G.113), до оценки прикладных рабочих характеристик с помощью инструментов, таких как E-модель (см. Рекомендацию МСЭ-T G.107).

Существуют обстоятельства, при которых порядок следования пакетов может изменяться во время их прохождения через сеть. Некоторые буферы для сглаживания фазового дрожания неспособны восстановить порядок следования переупорядоченных пакетов (Рекомендация МСЭ-T Y.1540) и, в этом случае, они обозначаются как отброшенные пакеты.

### 7.2.1.2 Задержка

Правильное значение задержки буфера для объединения с другими задержками зависит от наличия описательной статистики. Например, среднюю задержку в сети следует суммировать со средним временем использования буфера для сглаживания фазового дрожания (и другими задержками), чтобы получить общую среднюю задержку. Этот метод предусматривает адаптацию буфера, требуя знания только среднего времени пребывания всех пакетов в очереди в оцениваемом временном интервале. С другой стороны, если известна только минимальная задержка в сети, то ее следует суммировать с максимальным временем использования буфера для сглаживания фазового дрожания (или использованным размером и другими задержками), чтобы дать общую задержку.

Далее мы рассматриваем инициализацию для буфера сглаживания фазового дрожания фиксированного размера. Если первый прибывающий пакет имеет минимальную задержку передачи, то приемник будет сохранять этот пакет в буфере все необходимое время, и размер буферизации будет равен ожидаемому. К счастью, многие пакеты прибывают за время, равное или близкое к минимальному времени передачи, поэтому этот случай весьма правдоподобен.

С другой стороны, если первый пакет имеет довольно большую задержку, то для размещения ранее принятых пакетов со временем передачи, равным или близким к минимальному времени передачи, потребуется больше буферного пространства, а буфер для сглаживания фазового дрожания будет вносить в общий расчет задержку, превышающую ожидаемую.

### 7.2.1.3 Модель фиксированного буфера для сглаживания фазового дрожания и терминала получателя

Наиболее простой и эффективной моделью потерь из-за фиксированного буфера для сглаживания фазового дрожания является обозначение как отбрасываемых всех пакетов, задержка которых больше чем минимальная задержка передачи потока пакетов плюс (фиксированная) длина буфера для сглаживания фазового дрожания.

Следующая процедура обеспечивает отображение уровня IP и прикладных уровней, предполагая для оценки характеристик терминала получателя, что буфер для сглаживания фазового дрожания имеет фиксированную длину.

- 1) Отметить как потерянные все пакеты с неверной контрольной суммой UDP.
- 2) Отметить как отбрасываемые все пакеты, задержка которых больше, чем минимальная задержка передачи потока пакетов плюс (фиксированная) длина буфера для сглаживания фазового дрожания, или задержка которых меньше чем установленный минимум.
- 3) Суммировать среднюю задержку в сети (IPTD) со средней задержкой терминала источника и терминала получателя, чтобы получить общую среднюю задержку, или суммировать минимальную задержку в терминале источника и минимальную задержку в сети с максимальной задержкой терминала получателя (отражающую максимальное время использования буфера для сглаживания фазового дрожания, когда имеется фазовое дрожание в сети, или используется максимальный размер).

В вышеприведенном шаге 2 минимальную задержку передачи следует оценивать на коротких интервалах (временно используется значение 10 секунд). Данное минимальное значение первого интервала используется всегда, не считая краткосрочного увеличения минимума вне диапазона

адаптации буфера. В этом случае ни один из пакетов не будет доставлен на верхние уровни и буфер для сглаживания фазового дрожания должен быть переустановлен на новый минимум, что вероятно будет происходить на практике. Или же, если краткосрочное значение минимума должно уменьшиться до величины, при которой высокий процент (временно 50%) пакетов были бы помечены как потерянные из-за раннего поступления, то буфер для сглаживания фазового дрожания должен быть переустановлен на новый минимум.

При расчете общего вклада фиксированного буфера для сглаживания фазового дрожания в ухудшения, распределение изменений задержки определяет долю пакетов, которые следует отбросить. Распределение задержек пакетов, которые размещаются (не отбрасываются), может быть использовано для расчета средней задержки из-за занятия буфера для сглаживания фазового дрожания, следующим образом:

Средняя задержка из-за занятия = [Размер буфера для сглаживания фазового дрожания] – (Средняя задержка размещенных пакетов – Мин. задержка)

Эта средняя задержка может быть прибавлена к другим константам задержки в терминале получателя для выполнения оценки средней задержки в терминале получателя. Если точное распределение задержки отсутствует, то применяется соглашение о том, что в расчетах при планировании сети средняя задержка из-за занятия буфера может быть заменена половиной размера буфера сглаживания фазового дрожания.

Если при расчетах необходима максимальная задержка в терминале получателя, то максимальный размер буфера для сглаживания фазового дрожания может быть прибавлен к другим константам терминала получателя для выполнения оценки максимальной задержки.

#### 7.2.1.4 Модель адаптивного буфера для сглаживания фазового дрожания

Фиксированный буфер для сглаживания фазового дрожания в п. 7.2, выше, может быть заменен эмуляцией адаптивного буфера для сглаживания фазового дрожания, как описано в данном пункте, когда имеется информация о временной последовательности потока пакетов.

Временные последовательности поступления пакетов могут быть использованы эмулятором адаптивного буфера для сглаживания фазового дрожания при определении динамики размера буфера и среднего времени использования буфера (задержка) для этой последовательности. Эта средняя задержка может быть объединена с другими константами задержки в терминале получателя для получения оценки средней задержки в терминале получателя.

Пример эмулятора адаптивного буфера для сглаживания фазового дрожания приведен в Добавлении II.

#### 7.2.2 Задержка в терминале получателя

Задержка в терминале получателя – интервал, начало которого определено моментом, когда первый бит пакета, представляющий собой колебательный сигнал, входит во входную эталонную точку терминала, а окончание – моментом, когда соответствующий декодированный и депакетированный сигнал поступает в эталонную точку уха. При необходимости приемная электрическая эталонная точка может быть заменена эталонной точкой уха.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Настоящая задержка может изменяться, если имеется адаптивный буфер для сглаживания фазового дрожания, а для суммирования изменений следует применять соответствующую статистику.

Поскольку, согласно определению, задержка в терминале источника включает полное время пакетирования/депакетирования, сигналы проверки пакетов терминала получателя следует строить так, чтобы они занимали начальную часть полезной нагрузки. Таким образом, измерения задержки в терминале получателя должны проводиться в эквивалентные моменты в отношении времени пакетирования.

### 7.3 Система со смещением частоты, использующая в качестве опорной тактовую частоту получателя

Система со смещением частоты может быть оценена путем контроля приращения номера последовательности в единицу времени или смещения накапливаемой временной метки, и эта оценка осуществляется путем измерения разности между точностью аналого-цифрового преобразования синхронизаторов источника и получателя. Относительное смещение частоты синхронизаторов источника и получателя может быть описано как:

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{Получателя}}} = \frac{f_{\text{Источника}} - f_{\text{Получателя}}}{f_{\text{Получателя}}}$$

Это смещение частоты может быть использовано для определения частоты событий переполнения буфера или антипереполнения (underflow) его в терминале получателя, обычно вследствие дополнительных потерь пакетов, учитывая, что незначительное смещение частоты эквивалентно временному сдвигу ( $\Delta t$ ) за рассматриваемый интервал ( $T$ ).

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{Получателя}}} = -\frac{\Delta t}{T}$$

(отмечается, что разности частоты и временных интервалов имеют обратную зависимость). Например, предположим, что частота источника равна 7999,997 Гц, а частота получателя равна 8000,001 Гц, а длина буфера для сглаживания фазового дрожания составляет 20 мс. Поскольку синхронизатор ЦАП получателя считывает информацию быстрее, чем источник ее поставляет, то буфер для сглаживания фазового дрожания в конце концов будет пустым или антипереполненным. При относительном смещении

$$\frac{7999,997 - 8000,001}{8000,001} = -5 \times 10^{-7}$$

(где знак минус показывает, что тактовые импульсы в источнике имеют меньшую скорость, чем соответствующие импульсы у получателя) временной сдвиг, равный целому буферу для сглаживания фазового дрожания, будет накапливаться в течение интервала наблюдения

$$T = \frac{-(\Delta t = 0,02)}{-5 \times 10^{-7}} = 40\,000 \text{ с} = 667 \text{ м.}$$

#### 7.4 Маскирование потерь пакетов (тип, задержка)

Многие стандартизованные речевые кодеры имеют собственные механизмы маскирования потерь пакетов (PLC) и достаточно указать, включен ли PLC или выключен, и учитывать любую дополнительную задержку. Например механизм в Добавлении G.711 добавляет по меньшей мере 3,75 мс алгоритмической задержки и возможно еще зависит от реализации. Этот PLC может быть использован с другими кодерами формы сигналов, такими как G.726.

На практике появилось много видов нестандартизованных PLC, в частности для кодеров G.711 и других кодеров формы сигналов. Если они используются, то следует определить алгоритм и задержку конкретного PLC.

Заметим, что PLC, которое производит лучшее впечатление на пользователей, могут не соответствовать потребностям детекторов несущей модемов тональной частоты. Если имеется классификатор сигналов для факсимильных модемов или модемов для передачи данных тональной частоты и для улучшения их работы в пакетных сетях выбран особый PLC, то следует определить тип PLC и метод классификации сигнала.

#### 7.5 Общая задержка (включающая источник, сеть и получателя)

Выполняя анализ буфера для сглаживания фазового дрожания и других составных элементов терминала получателя, как описано в п. 7.2.1 и показано на рисунке 5, можно объединить их с задержкой в терминале источника и в сети(ях), чтобы определить общую задержку в системе. Приемлемыми являются следующие формулы, а их применение определяется конкретной статистикой задержки, доступной при расчетах.

При наличии средних задержек для всех составных частей:

Общая\_Средняя\_Задержка = средняя (задержка\_в источнике) + средняя (задержка\_в сети) + средняя (задержка\_у получателя)

Как ясно показано на рисунке 5, минимальные задержки в терминале источника и в сети могут быть объединены с максимальной задержкой в терминале получателя, чтобы получить оценку, используя константы:

Общая Задержка (константа) = мин (задержка\_в источнике) + мин (задержка\_в сети) + макс (задержка\_у получателя)

При непосредственном измерении общая задержка представляет собой интервал, начало которого определяется временем, когда сигнал входит в эталонную точку рта, и заканчивается временем, когда соответствующий сигнал поступает в эталонную точку уха (или эквивалентные эталонные точки).

Один из методов прямого измерения общей задержки документально зафиксирован в Приложении В к [В-11].

Несколько примеров расчета общей средней задержки представлено в Добавлении III/У.1541. В этих примерах используются различные конфигурации сети и эталонные терминалы с несколькими размерами пакетов, буферами для сглаживания фазового дрожания и видов маскирования потерь пакетов. В Добавлении X/У.1541 производится расчет значений R для E-модели для каждого из этих случаев [G.107].

## **7.6 Неравномерности временной шкалы после сглаживания фазового дрожания и в потоке PLC**

Неравномерность временной шкалы определяется как внезапное изменение общей задержки, измеренной от эталонной точки рта до эталонной точки уха. Этот параметр показывает, как часто происходят эталонные сдвиги временного отсчета пользователя, вызванные сетевым трактом, буфером для сглаживания фазового дрожания или обоими факторами.

## **7.7 Общие (кадр/пакет) потери (включая сеть и получателя)**

Данный параметр может быть выражен в единицах пакетов или кадров кодера. Важно понимать связь между потерей кадров или потерей пакетов. Например, когда два кадра объединяются для образования каждого пакета, потеря любого пакета означает пачку из двух потерянных кадров и декодер/PLC должен пытаться произвести восстановление при более сложных обстоятельствах, чем при потере одного изолированного кадра.

### **7.7.1 Коэффициент общих потерь (кадров/пакетов)**

Коэффициент общих потерь за оцениваемый интервал определяется следующим образом:

Коэффициент общих потерь =

$$1 - \frac{(\text{Total\_pkt\_sent} - \text{Lost\_net} - \text{Lost\_error\_check} - \text{Discarded\_de-jitter-buffer} - \text{Discarded\_reordering})}{\text{Total\_pkt\_sent}}$$

### **7.7.2 Модель общих потерь (кадров/пакетов)**

Для оценки влияния потерь и отбрасываний в приложениях VoIP, полезно рассматривать распределение этих ухудшений во времени. Типичные подходы включают модель Гилберта-Эллиота и аналогичные модели, основанные на модели Маркова. В [B-10] описывается использование модели Гилберта-Эллиота для описания распределения потерь пакетов и отбрасываний и дается пример марковской модели с четырьмя состояниями для определения этих параметров. В Добавлении I проводится описание этих моделей и дается пример типичного распределения потерь/отбрасывания пакетов. Типичными выходными параметрами являются средняя длина интервалов и плотность потерь/отбрасываний, а также средняя длина пачки и плотность потерь/отбрасываний.

### **7.7.3 Подсчет событий полных общих последовательных потерь (кадров/пакетов)**

После рассмотрения потока пакетов, переданных согласно [B-9], и совокупности последовательных пакетов, обозначенных как потерянные или отброшенные согласно всем соответствующим критериям потерь/отбрасывания в параметре коэффициента общих потерь, далее длина данного события должна определяться как количество пакетов, потерянных в последовательности. Эту длину следует определять отдельно для каждого события. В качестве результата следует также представить подсчет размера каждого события. При выполнении данного измерения могут быть использованы последовательные номера, содержащиеся в заголовках пакетов.

### **7.7.4 Трудности и ошибки при вычислении общих параметров**

Согласно одному из упрощенных подходов для определения общей сквозной задержки следует взять среднюю задержку при передаче IP-пакета и объединить ее с постоянными величинами для других элементов тракта рот-ухо. При выполнении этой процедуры могут произойти ошибки вследствие переменных задержек в некоторых составных элементах терминала (например, в буфере для сглаживания фазового дрожания), или потому, что игнорируются элементы с переменной задержкой.

Другой потенциальной трудностью было бы использование коэффициента потерь пакетов, измеренного контрольным приемником, который предусматривает допуск, например 3 секунды, до объявления потери пакета, таким образом недооценивая коэффициент потерь. Типичный буфер для сглаживания фазового дрожания дал бы меньший допуск при больших задержках, превышающих норму. К тому же, знание количественных данных о буфере для сглаживания фазового дрожания играет существенную роль в отображении рабочих характеристик и потерь IP-пакетов на прикладном уровне.

## Добавление I

### Распределения потерь пакетов и модели потерь пакетов

#### I.1 Введение

В принципе понятно, что распределение потерь пакетов в IP-сетях является прерывистым ("bursty"), однако имеется меньше определенности в отношении использования конкретных моделей потерь, и на практике, некоторое ошибочное понимание ряда общераспространенных моделей, например модели Гилберта. В данном Добавлении очерчиваются некоторые ключевые модели потерь пакетов, дается определенный анализ данных о потере пакетов, обсуждаются степени "пригодности" моделей и данных и предлагается использовать для представления распределения потерь марковскую модель с 4 состояниями.

#### I.2 Общие модели потерь пакетов

##### I.2.1 Исторические предпосылки

Многие ранние работы по моделированию потерь или ошибок проводились в 1960-х годах в отношении распределения битовых ошибок в телефонных каналах.

Одним из используемым подходов была марковская модель или модель с множеством состояний. Модель Гилберта [13] для описания модели пачек ошибок этого типа появилась первой, позднее она была расширена Эллиотом [10] и [11] и Кейном и Симпсоном [6]. Бланк и Трефтон [3] создали марковские модели более высокого состояния для представления распределения ошибок.

Другим подходом было определение статистического распределения интервалов. Мертц [17] использовал гиперболические распределения, а Бергер и Мандельброт [2] применили распределения Парето к модели интервалов между ошибками. Льюис и Кокс [16] нашли, что в измеренных распределениях ошибок имелась сильная положительная корреляция между смежными интервалами.

Моделирование потерь пакетов в IP-сетях, кажется, должно следовать схожим курсом, хотя основная причина потерь (обычно, перегрузка) может быть отлична от причин возникновения ошибок в битах (обычно, шум в канале или фазовое дрожание).

##### I.2.2 Модель Бернулли или независимая модель

Наиболее широко используемой моделью является простой канал с независимыми потерями, в котором пакет теряется (или происходят ошибки в битах) с вероятностью  $P_e$ . Для некоторого большого количества пакетов  $N$ , ожидаемое количество потерянных пакетов равно  $N \times P_e$ . Вероятность потерь может быть оценена путем подсчета количества потерянных пакетов и деления его на общее количество переданных пакетов.

##### I.2.3 Модели Гилберта и Гилберта-Эллиота

Наиболее широко известными моделями пачек являются модель Гилберта [13] и ее вариант, известный как модель Гилберта-Эллиота [10] и [11]. Обе они являются моделями с двумя состояниями, в которых переход между "хорошим" или состоянием интервала 0 и "плохим" или состоянием пачек 1 происходит с вероятностями  $P_{01}$  и  $P_{11}$  перехода из состояния в состояние:

- i) *модель Гилберта*
  - a) Состояние 0 является состоянием с нулевыми потерями/ошибками;
  - b) Состояние 1 является состоянием с потерями (вероятность независимых потерь,  $P_{e1}$ ).
- ii) *модель Гилберта-Эллиота*
  - a) Состояние 0 является состоянием с низкими потерями (вероятность независимых потерь  $P_{e0}$ );
  - b) Состояние 1 является состоянием с потерями (вероятность независимых потерь  $P_{e1}$ ).

Зачастую подразумевается, что состояние с *потерями* в модели Гилберта соответствует состоянию "потерь", то есть что вероятность потерь пакетов в состоянии 1 равняется 1, однако это *неверно* (было

бы более правильно описывать это состояние марковской моделью с двумя состояниями). Это приводит к анализу данных о потерях пакетов в составе пачек исключительно в единицах последовательных потерь, при которых упускаются эффекты продолжительных периодов с высокой плотностью потерь. Как показано в [14], эти продолжительные периоды с высокой плотностью потерь могут оказать значительное влияние на передачу речи посредством услуг на базе IP.

Рассмотрим, например, следующее:

Образец потерь 0000011001010101101100000000000000000000

При правильном применении модели Гилберта – длина пачки 15, плотность пачки 60%

При неправильном применении модели Гилберта – средняя длина пачки 1,5 пакета

Дальнейшие примеры приведены в [21].

#### 1.2.4 Марковские модели

Марковская модель представляет собой обобщенную модель с множеством состояний, в которых переключение системы из состояния  $i$  в состояние  $j$  происходит с некоторой вероятностью перехода  $p(i, j)$ .

Марковская модель с двумя состояниями имеет некоторое преимущество, заключающееся в том, что она способна охватывать очень кратковременные зависимости между потерянными пакетами, то есть последовательные потери [1], [4], [15] и [19]. В общем случае они являются очень короткими событиями (например, длиной 1–3 пакета), но случайные сбои в работе линии могут приводить в итоге к весьма длинным последовательностям потерь длительностью до десятков секунд [5].

Посредством сочетания модели с двумя состояниями с моделью Гилберта-Эллиота возможно охватить как весьма кратковременные события с последовательными потерями, так и более продолжительные события с низкой плотностью потерь.

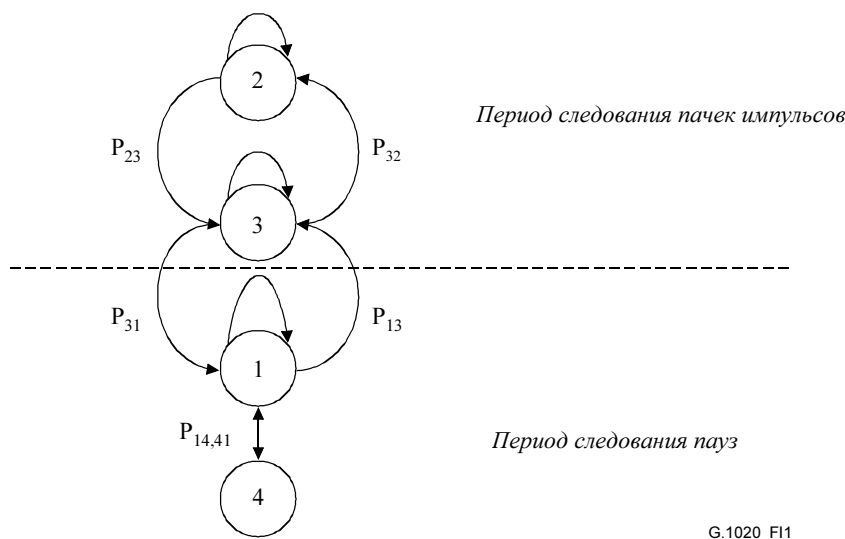


Рисунок I.1/G.1020 – Марковская модель с 4 состояниями

Данная марковская модель с 4 состояниями [7] и [12] представляет периоды следования *пачек*, в течение которых пакеты принимаются и теряются в соответствии с первой моделью с 2 состояниями, и периоды *пауз*, во время которых пакеты принимаются и теряются в соответствии со второй моделью с 2 состояниями. Данные состояния имеют следующие определения:

- a) Состояние 1 – пакет принят успешно;
- b) Состояние 2 – пакет принят в пределах пачки импульсов;
- c) Состояние 3 – пакет потерян в пределах пачки импульсов;
- d) Состояние 4 – отдельный пакет потерян в пределах паузы.

Например, используя нижеприведенный образец:

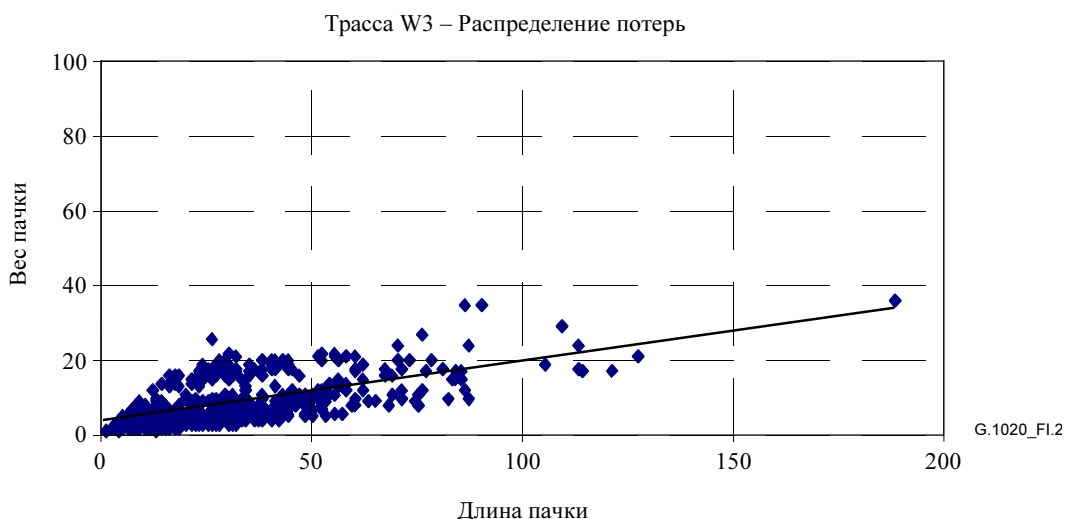
Образец потерь 0000011001010101101100000000000000000000001000000000

Состояние 11111332232323233233111111111111111111111111111411111111

Общепринятым является определение паузы в отношении некоторого критерия, например коэффициента потерь, который ниже некоторого предела или некоторого количества последовательно принятых пакетов. Удобным является определение, согласно которому пачка импульсов должна быть самой длинной последовательностью, начинающейся и заканчивающейся с потери, в течение которой количество последовательно принятых пакетов меньше некоторой величины  $G_{min}$  (приемлемая величина  $G_{min}$  для использования с услугами передачи речи по IP-сети была бы равна 16, тогда как для использования с видеослужбами предпочтительнее была бы более высокая величина, например 64 или 128).

### 1.3 Примерная трасса прохождения пакета

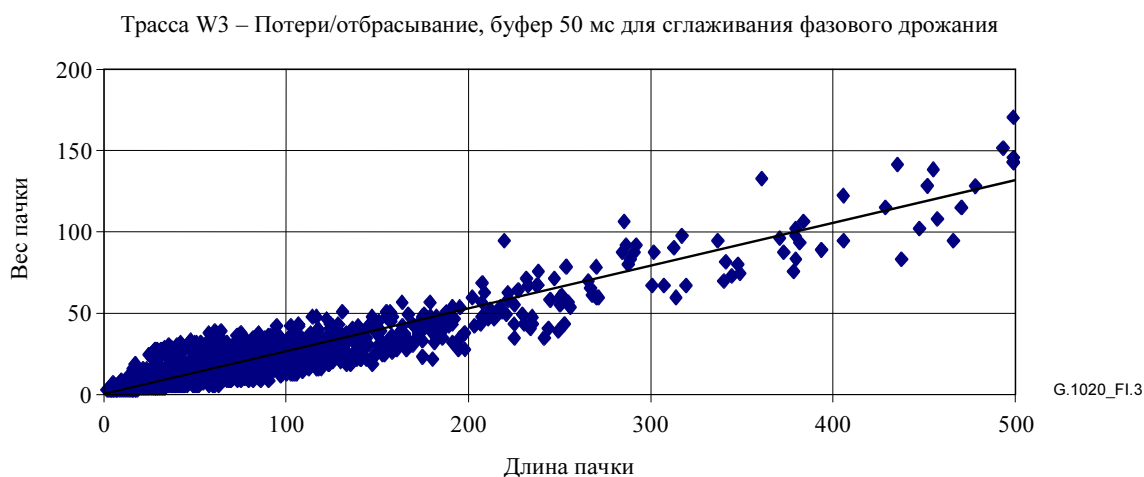
Ниже показаны два графика, которые были получены путем анализа примерной трассы IP-пакета. На первом графике показана диаграмма рассеяния веса импульсов в пачке в зависимости от длины пачки (модель Гилберта). *Длина пачки* представляет собой расстояние в пакетах между первым и последним, потерянными пакетами в пачке, а *вес пачки* представляет собой количество пакетов, потерянных в пачке. Можно ясно видеть, что встречаются пачки импульсов до 100 пакетов длиной, а типичная плотность потерь составляет 20–25%.



**Рисунок 1.2/G.1020 – Трасса W3 диаграммы рассеяния веса пачки в зависимости от длины пачки только при потерях пакетов**

На втором графике показана диаграмма рассеяния веса пачки в зависимости от длины пачки при потерях и отбрасывании пакетов, предполагая, что имеется фиксированный буфер 50 мс для сглаживания фазового дрожания. Здесь показано значительно большее количество пачек, указывающих, что фазовое дрожание было значительной проблемой на этой трассе. Плотность пачки превышает 500 пакетов, а средняя плотность пачек составляет приблизительно 30%.





**Рисунок I.3/G.1020 – Трасса W3 диаграммы рассеяния веса пачки в зависимости от длины пачки при потерях пакетов и отбрасывании пакетов (буфер 50 мс для сглаживания фазового дрожания)**

#### **I.4 Литература к Добавлению I**

- [1] ALTMAN (E.), AVRACHENKOV (K.), BARAKAT (C.): TCP in the Presence of Bursty Losses, *Performance Evaluation* 42, pp. 129-147, 2000.
- [2] BERGER (J.M.), MANDELBROT (B.): A New Model for Error Clustering in Telephone Circuits, *IBM J R&D*, July 1963.
- [3] BLANK (H.A), TRAFTON (P.J.): A Markov Error Channel Model, *Proc. Nat Telecomm Conference*, 1973.
- [4] BOLOT (J.C.), VEGA GARCIA (A.): The case for FEC based error control for packet audio in the Internet, *ACM Multimedia Systems*, 1997.
- [5] BOUTREMANS (C.), IANNACCONE (G.), DIOT (C.): Impact of Link Failures on VoIP Performance, *Sprint Labs Technical Report IC/2002/015*.
- [6] CAIN (J.B.), SIMPSON (R.S.): The Distribution of Burst Lengths on a Gilbert Channel, *IEEE Trans IT*, 15 September 1969.
- [7] CLARK (A.): Modelling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality, *IPtel 2001 workshop*.
- [8] DRAJIC (D.), VUCETIC (B.): Evaluation of Hybrid Error Control Systems, *IEE Proc. F. Vol. 131*, April 1984.
- [9] EBERT (J-P.), WILLIG (A.): A Gilbert-Elliott Model and the Efficient Use in Packet Level Simulation, *TKN Technical Report 99-002*.
- [10] ELLIOTT (E.O.): Estimates of Error Rates for Codes on Burst Noise Channels, *BSTJ* 42, September 1963.
- [11] ELLIOTT (E.O.): A Model of the Switched Telephone Network for Data Communications, *BSTJ* 44, January 1965.
- [12] ETSI TIPHON TS 101 329-5 VI.1.2 (2002), *Annex E, QoS measurements for Voice over IP*.
- [13] GILBERT (E.N.): Capacity of a Burst Noise Channel, *BSTJ*, September 1960.
- [14] ITU-T SG 12 D.139, *Study of the relationship between instantaneous and overall subjective speech quality for time-varying quality speech sequences*, France Telecom.

- [15] JIANG (W.), SCHULZRINNE (H.): Modelling of Packet Loss and Delay and their effect on Real Time Multimedia Service Quality, *NOSSDAV*, 2000.
- [16] LEWIS (P.), COX (D.): A Statistical Analysis of Telephone Circuit Error Data, *IEEE Trans COM-14*, 1966.
- [17] MERTZ (P.): Statistics of Hyperbolic Error Distributions in Data Transmission, *IRE Trans CS-9*, December 1961.
- [18] SANNECK (H.), CARLE (G.): A Framework Model for Packet Loss Metrics Based on Loss Runlengths, *Proc. ACM MMCN*, January 2000.
- [19] YAJNIK (M.), MOON (S.), KUROSE (J.), TOWSLEY (D.): Measuring and Modelling of the Temporal Dependence in Packet Loss, *UMASS CMPSCI Tech. Report 98-78*.
- [20] ITU-T SG 12, Delayed Contribution D.22, *A framework for setting packet loss objectives for VoIP*, AT&T, October 2001.
- [21] ITU-T SG 12, Delayed Contribution D.97, *Packet Loss Distributions and Packet Loss Models*, Telchemy, January 2003.

## Добавление II

### Примерный эмулятор адаптивного буфера для сглаживания фазового дрожания

Этот пример эмулятора буфера для сглаживания фазового дрожания работает путем отслеживания кратковременной минимальной задержки и использования ее для определения местонахождения временного окна, размер которого эквивалентен размеру буфера для сглаживания фазового дрожания. Фактическое время поступления пакета сравнивается с временным окном, с тем чтобы определить, будет ли пакет отброшен или размещен в буфере.

Выходом из этого эмулятора буфера для сглаживания фазового дрожания является событие потери/отбрасывания пакетов, связанное с подсчетом количества хороших пакетов (то есть не потерянных или отброшенных), которое является входом в модель распределения потерь пакетов.

Алгоритм эмуляции буфера для сглаживания фазового дрожания определяет изменения задержки для каждого прибывающего пакета RTP, основанные на временной метке RTP/номере последовательности и локальном синхросигнале. Данный подход предпочтителен для измерения изменений задержки между пакетами, поскольку он:

- i) обрабатывает поступающие не по порядку пакеты, не требуя их буферизации, что уменьшает вычислительную сложность;
- ii) способен обнаруживать средне-долговременные изменения задержки, вызванные перегрузками, изменениями маршрутов или ухода синхросигналов.

Эмулятор буфера для сглаживания фазового дрожания работает следующим образом:

*Первый поступающий пакет RTP является начальной опорной точкой с временной меткой  $R_{ref}$  пакета RTP.*

*Устанавливает номинал, равный задержке пакетов, прибывающих вовремя (параметр конфигурации).*

*Устанавливает максимум задержки, равный количеству периодов следования пакетов в данном размере пакета (параметр конфигурации).*

*Определяет окно опережения = Максимум – Номинал.*

*Определяет окно запаздывания = Номинал.*

Для каждого пакета RTP, связанного с потоком, проходящим через контрольную точку:

Связывает локальную временную метку  $L$  с временем поступления пакета RTP

Распознает временную метку  $R$  пакета RTP

Оценивает ожидаемое время поступления пакета RTP на основе эталонного пакета RTP, используя выражение  $L_{expected} = L_{ref} + (R - R_{ref})$

Оценивает изменения задержки пакета RTP как  $D = L - L_{expected}$

Если  $D <$  окно опережения, то

отмечает данный пакет как отбрасываемый,

устанавливает эталонную точку в этот пакет

Если  $D >$  окна запаздывания, то

отмечает данный пакет как отбрасываемый

Если пакет дублирует уже принятый пакет, то он молча отбрасывается

Сохраняет скользящее окно, равное 32 пакетам, назначаемое последовательным номером, отмеченным по умолчанию как потерянный – отмечает пакеты в этом окне как принятые или отброшенные

В конце окна – распознает пакеты как потерянные/отброшенные или размещенные

Окно опережения/запаздывания может быть динамически подстроено, чтобы соответствовать поведению адаптивного буфера для сглаживания фазового дрожания.

Алгоритм подстройки:

Определяет порог  $T1$ , равный неприемлемой наименьшей частоте отбрасывания (конфигурируемый параметр)

Определяет порог  $T2$ , равный периоду между настройками в нисходящем направлении размера буфера для сглаживания фазового дрожания (в пакетах, конфигурируемый параметр)

Сохраняет текущее среднее значение отбрасываний из-за запаздывания,  $C1$ , с коэффициентом масштабирования,  $S$  (обычно 15)

$C1 = (C1 \times (S - 1) + D)/S$ , где  $D$  равно 1, если пакет отброшен и 0, если нет

Поддерживает подсчет пакетов, принятых после последнего отбрасывания из-за запаздывания  $C2$

если  $C1$  превосходит порог  $T1$ , а буфер меньше максимума, то увеличивает размер буфера и устанавливает исходное значение  $C1$ ;

если  $C2$  превосходит порог  $T2$ , а буфер больше минимума, то уменьшает объем буфера и устанавливает исходное значение  $C2$ .

Максимальное значение временного окна или максимальная длина буфера для сглаживания фазового дрожания должны быть установлены такими, чтобы данный эмулятор не мог увеличить размер буфера до экстремальных значений, которые были бы невозможны на практике.

## Добавление III

### ЛИТЕРАТУРА

- [B-1] RFC 3550, RTP (2003), *A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
- [B-2] RFC 2330 (1998), *Framework for IP Performance Metrics*.
- [B-3] RFC 2678 (1999), *IPPM Metrics for Measuring Connectivity*.
- [B-4] RFC 2679 (1999), *A One-way Delay Metric for IPPM*.
- [B-5] RFC 2680 (1999), *A One-way Packet Loss Metric for IPPM*.
- [B-6] RFC 2681 (1999), *A Round-trip Delay Metric for IPPM*.
- [B-7] RFC 3357 (2002), *One-way Loss Pattern Sample Metrics*.
- [B-8] RFC 3393 (2002), *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics IPPM*.
- [B-9] RFC 3432 (2002), *Network performance measurement for periodic streams*.
- [B-10] RFC 3611 (2003), *RTP Control Protocol Extended Reports (RTPC XR)*.
- [B-11] ETSI TS 101 329-5 V1.1.2 (2002), *TIPHON release 3, End-to-End Quality of Service in TIPHON Systems, Part 5 Quality of Service (QoS) Measurement Methodologies*.



## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

|                |   |
|----------------|---|
| Серия А        | Организация работы МСЭ-Т  |
| Серия В        | Средства выражения: определения, символы, классификация   |
| Серия С        | Общая статистика электросвязи   |
| Серия D        | Общие принципы тарификации  |
| Серия E        | Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы   |
| Серия F        | Нетелефонные службы электросвязи  |
| <b>Серия G</b> | <b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>  |
| 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        | Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений   |
| Серия M        | TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы |
| Серия N        | Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ   |
| Серия O        | Требования к измерительной аппаратуре   |
| Серия P        | Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий  |
| Серия Q        | Коммутация и сигнализация   |
| 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 и взаимосвязь открытых систем  |
| Серия Y        | Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола (IP) и сети следующих поколений                           |
| Серия Z        | Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи  |