

# Понимание задержки в сетях голосового пакета

## Содержание

[Введение](#)

[Основной голосовой поток](#)

[Как работает сжатие голосового трафика](#)

[Стандарты для пределов задержки](#)

[Источники задержки](#)

[Задержка кодера \(обработки\)](#)

[Задержка пакетирования](#)

[Задержка сериализации](#)

[Задержка очередности/буферизации](#)

[Задержка коммутации сети](#)

[Задержка, связанная с устранением "дрожания"](#)

[Создайте баланс задержек](#)

[Одноходовое подключение](#)

[Два Перехода на Сети общего пользования с s7200, что законы как Спаренный коммутатор](#)

[Двойное соединение через публичную сеть при помощи спаренного коммутатора телефонной сети для частного пользования](#)

[Двухходовое подключение через частную сеть со спаренным переключателем PBX](#)

[Следствия многократных циклов сжатия](#)

[Замечания по подключениям с высокой задержкой](#)

[Дополнительные сведения](#)

## Введение

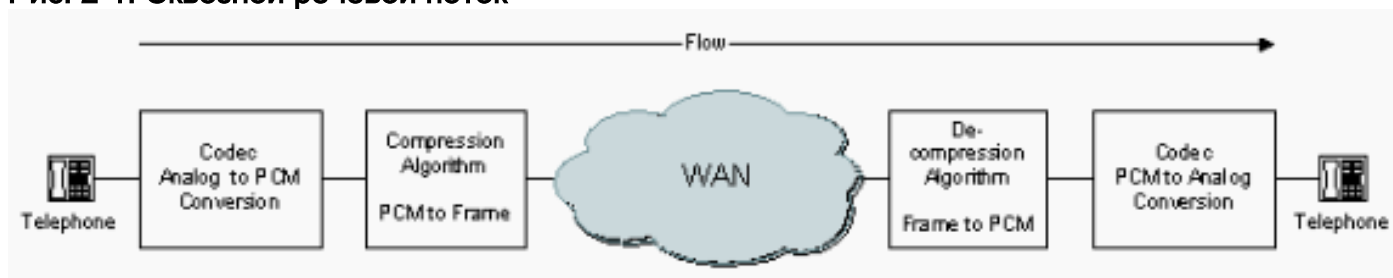
При проектировании сетей, в которых речь передается через инфраструктуры пакетов, кадров или ячеек, важно понимать и учитывать компоненты задержек в сети. Если правильно учтены все возможные задержки, это гарантирует приемлемую работоспособность всей сети. Общее качество передаваемой речи зависит от многих факторов, которые включают алгоритмы сжатия, ошибки и потери кадров, эхоподавление и задержки. В этом документе описываются источники задержки, существующие при использовании маршрутизаторов/шлюзов Cisco в сетях пакетной коммутации. Хотя примеры связаны с технологией Frame Relay, излагаемые концепции применимы к сетям VoIP (Voice over IP) и VoATM (Voice over ATM).

## Основной голосовой поток

На данной схеме показан поток в цепи передачи сжатых речевых сигналов. Аналоговый сигнал от телефона цифруется в сигналы с импульсно-кодовой модуляцией (PCM) с

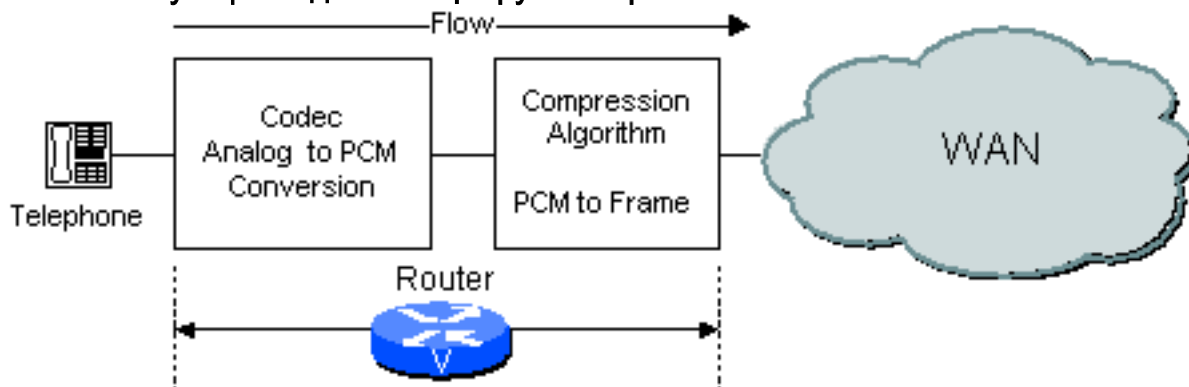
помощью кодера-декодера (кодека) речи. Выборки PCM обрабатываются затем в соответствии с алгоритмом сжатия, в результате чего речь сжимается в виде пакетов для последующей передачи по глобальной сети (WAN). На дальней стороне облака точно такие же функции выполняются в обратном порядке. Весь поток показан на рис. 2.1.

Рис. 2-1. Сквозной речевой поток



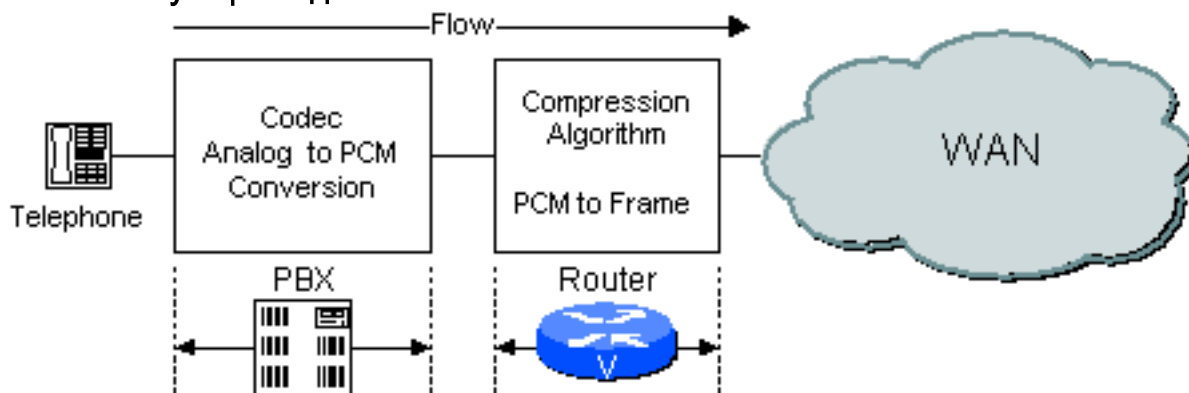
В зависимости от конфигурации сети маршрутизатором/шлюзом может выполняться и функция кодека, и функция сжатия, или только одна из них. Например, если используется аналоговая система речи, тогда маршрутизатором/шлюзом выполняется и функция CODEC, и функция сжатия, как показано на рис. 2-2.

Рис. 2-2. Функция кодека в маршрутизаторе/шлюзе



Если применяется цифровая офисная АТС (PBX), ею выполняется функция кодека, а маршрутизатором обрабатываются выборки PCM, передаваемые ему от PBX (Private Branch eXchange). Пример показан на рис. 2-3.

Рис. 2-3. Функция кодека в PBX

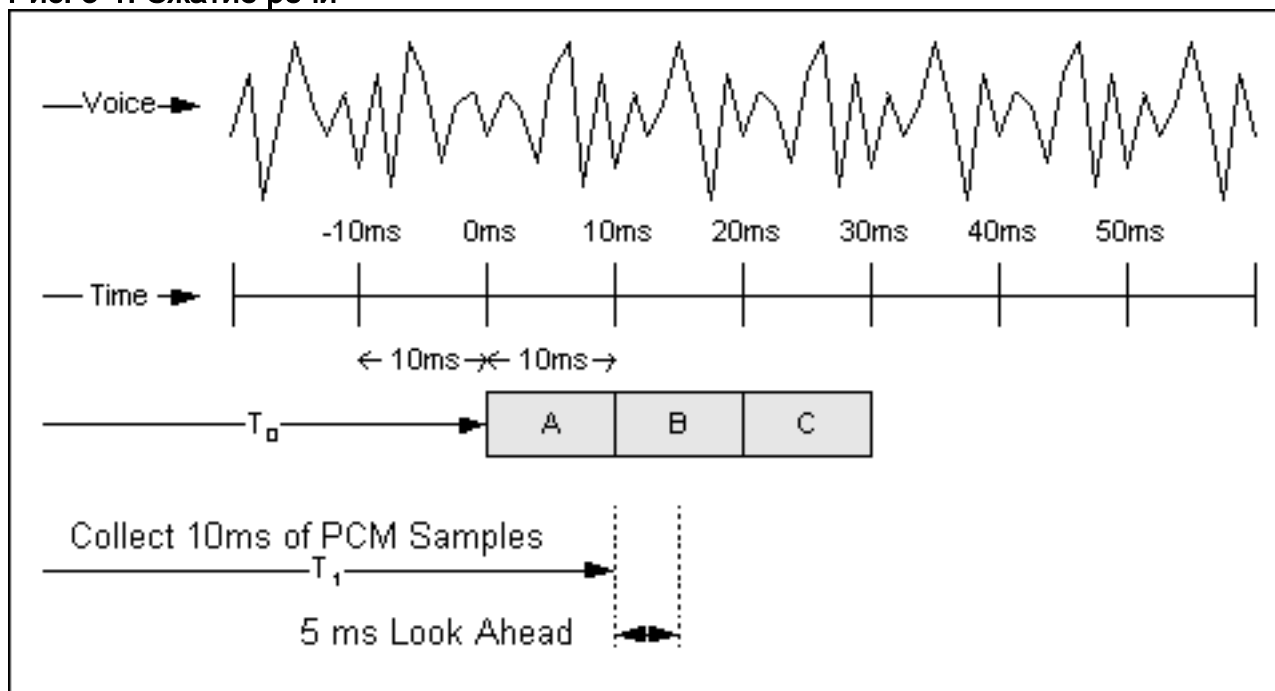


## [Как работает сжатие голосового трафика](#)

С помощью алгоритмов сжатия высокой сложности в маршрутизаторах/шлюзах Cisco анализируется блок выборок PCM, передаваемых речевым кодеком. Эти блоки варьируются

по длине в зависимости от кодера. Например, размер базового блока, используемого в алгоритме G.729, составляет 10 мс, тогда как размер базового блока, применяемого в алгоритме G.723.1, равен 30 мс. Пример работы системы сжатия G.729 показан на рис. 3-1.

Рис. 3-1. Сжатие речи



Аналоговый речевой поток оцифровывается в выборки PCM и обрабатывается в соответствии с алгоритмом сжатия порциями по 10 мс. Упреждающее планирование обсуждается в разделе «Алгоритмическая задержка».

## Стандарты для пределов задержки

Сетевые задержки в приложениях, связанных с передачей речи, рассмотрены Международным союзом телекоммуникаций (ITU, International Telecommunication Union) в рекомендации G.114. В этой рекомендации определяются три диапазона однонаправленной задержки, как показано в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Спецификации задержек

| Диапазон в миллисекундах | Описание  |
|--------------------------|---|
| 0-150                    | Приемлемо для большинства пользовательских приложений.  |
| 150-400                  | Допустимо при условии, что администраторы осведомлены о времени передачи и его влиянии на качество передачи в пользовательских приложениях. |
| Более 400                | Неприемлемо для общих целей планирования сетей. Однако признается, что в некоторых исключительных случаях этот                              |

**Примечание:** Эти рекомендации для соединений с эхом, соответственно управляемым. Этим подразумевается применение эхоподавителей. Эхоподавители необходимы, когда задержка по одному направлению превышает 25 мс (G.131).

Эти рекомендации адресованы национальным органам управления связью. Поэтому они накладывают более строгие ограничения, чем те, которые обычно применяются в частных сетях передачи речи. Когда местоположение и коммерческие потребности конечных пользователей хорошо известны проектировщику сети, более высокое значение задержки может оказаться приемлемым. Для частных сетей задержка 200 мс является приемлемой задержкой, а задержка в 250 мс представляет предельное значение. Все сети должны проектироваться таким образом, чтобы максимальная ожидаемая задержка речевого подключения была известна и минимизирована.

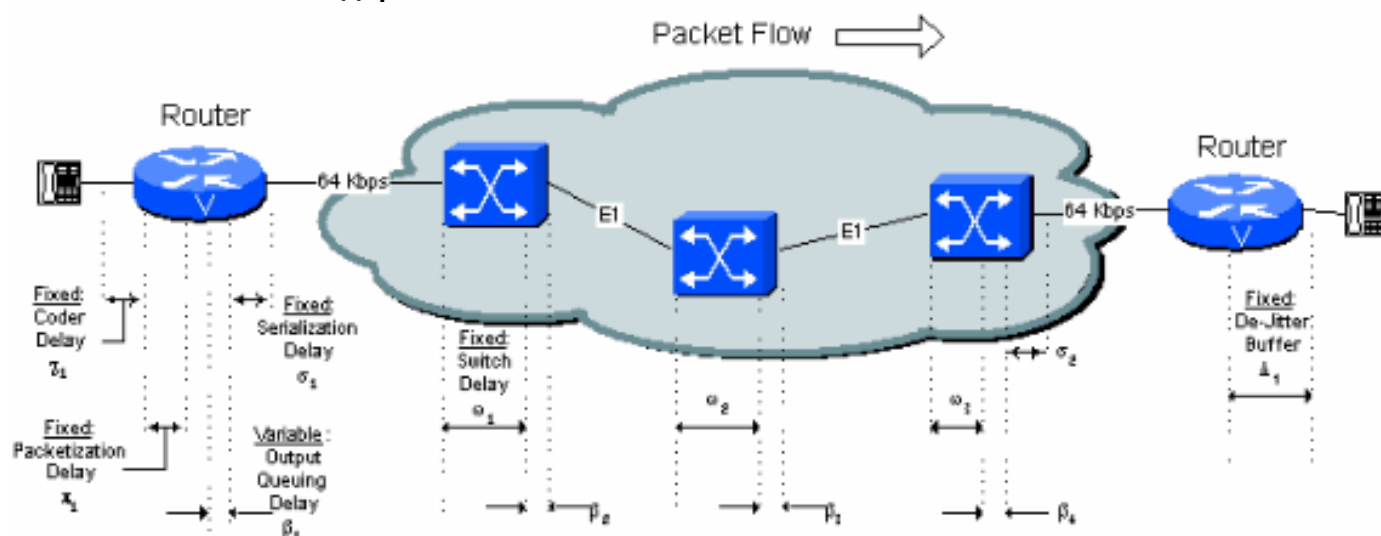
## Источники задержки

Существует два определенных типа задержек: фиксированные и переменные задержки.

- Компоненты фиксированной задержки добавляются непосредственно в общую задержку в соединении.
- Переменные задержки являются результатом задержек в очереди в буферах выходных магистралей на последовательном порту, подключенном к WAN. Эти буферы вызывают переменные задержки в сети, называемые дрожанием. Переменные задержки обрабатываются на принимающем маршрутизаторе/шлюзе буфером устранения дрожания. Минимизирующий изменения задержки прихода пакетов буфер описан в Задержке связанная с устранением дрожания ( $\Delta_n$ ) раздел этого документа.

На рис. 5-1 показаны все источники фиксированных и переменных задержек в сети. В этом документе подробно описывается каждый источник задержек.

Рис. 5-1: Источники задержек



## Задержка кодера (обработки)

Задержка кодировки — это время, необходимое цифровому процессору сигналов (DSP) для сжатия блока выборки PCM. Это также называют задержкой обработки ( $\tau_{xn}$ ). Эта задержка

зависит от используемого кодера речи и скорости процессора. Например, алгоритмы ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction) позволяют анализировать блок выборок PCM продолжительностью 10 мс и затем выполнять сжатие.

Время сжатия для процессора CS-ACELP (Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction) изменяется в диапазоне от 2,5 до 10 мс в зависимости от загрузки процессора DSP. Если DSP полностью загружен четырьмя речевыми каналами, задержка кодировки составит 10 мс. Если DSP загружен только одним речевым каналом, задержка кодировки будет равна 2,5 мс. Для целей проектирования следует предполагать наихудший случай временной задержки, равной 10 мс.

Время разделения равно в грубом приближении десяти процентам от времени сжатия для каждого блока. Однако время разделения пропорционально количеству выборок на каждый кадр из-за наличия многократных выборок. Следовательно, в худшем случае время разделения для кадра с тремя выборками равно 3 x 1 мс или 3 мс. Обычно два или три блока выходных данных, сжатых по алгоритму G.729, помещаются в один кадр, тогда как один кадр выходных данных, сжатых по алгоритму G.723.1, посылается в одном кадре.

Лучший и худший случаи задержек кодировки представлены в таблице 5.1.

**Таблица 5.1. Лучший и худший случаи задержки обработки**

| Кодер             | Скорость   | Требуемый блок выборок | Лучший случай задержки кодировки | Худший случай задержки кодировки |
|-------------------|------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| ADPCM, G.726      | 32 кбит/с  | 10 мс                  | 2.5 мс                           | 10 мс                            |
| CS-ACELP, G.729A  | 8.0 Кбит/с | 10 мс                  | 2.5 мс                           | 10 мс                            |
| MP-MLQ, G.723.1   | 6.3 Кбит/с | 30 мс                  | 5 мс                             | 20 мс                            |
| MP-ACELP, G.723.1 | 5,3 Кбит/с | 30 мс                  | 5 мс                             | 20 мс                            |

### Алгоритмическая задержка

В алгоритме сжатия предполагается, что известны характеристики речи, необходимые для правильной обработки блока выборок N. Алгоритму необходима определенная информация о том, что находится в блоке N+1, чтобы точно воспроизвести блок выборок N. Это упреждающее планирование, которое создает в действительности дополнительную задержку, называемую алгоритмической задержкой. Этот алгоритм эффективно увеличивает длину блока сжатия.

Данное событие происходит многократно, так как блоком N+1 исследуется блок N+2 и так далее. Суммарный эффект состоит в добавлении 5 мс к полной задержке в канале связи.

Это означает, что общее время, затрачиваемое на обработку блока данных, равно 10 мин. с постоянным фактором временных издержек в 5 мс. См. рис. 3-1: Сжатие речевых данных.

- Алгоритмическая задержка для кодеров G.726 составляет 0 мс
- Алгоритмическая задержка для кодеров G.729 равна 5 мс.
- Алгоритмическая задержка для кодеров G.723.1 равна 7,5 мс

Для примеров, приводимых в оставшейся части данного документа, предполагается сжатие по алгоритму G.729 с полезной нагрузкой 30 мс/30 байт. Чтобы облегчить проектирование и придерживаться консервативного подхода, в таблицах, содержащихся в оставшейся части данного документа, предполагается худший случай задержки кодировки. Задержка кодировки, задержка разделения и алгоритмическая задержка складываются вместе в одном показателе, который называется задержкой кодировки.

Для расчета параметра суммарной задержки кодировки используется уравнение:

Уравнение 1: Параметр «Суммарная задержка кодировки»

$$\begin{aligned} & \text{(Worst Case Compression Time Per Block)} \\ & \quad + \\ & \text{(De-Compression Time Per Block)} \\ & \quad \times \text{(Number of Blocks in Frame)} \\ & \quad + \\ & \text{(Algorithmic Delay)} \\ & \hline & = \text{"Lumped" Coder Delay Parameter} \end{aligned}$$

Суммарная задержка кодировки для алгоритма G.729, используемого в оставшейся части данного документа:

Время сжатия каждого блока в наихудшем случае: 10 мс

Время разделения каждого блока x 3 блока: 3 мс

Алгоритмическая задержка: 5 мс -----

Общее количество (χ) 18 мс

### [Задержка пакетирования](#)

Задержка пакетирования ( $\tau_{\text{пк}}$ ) является временем, потраченным для заполнения, полезные данные пакета с кодировали/сжимали речь. Эта задержка является функцией размера блока выборки, необходимого речевому кодеру, и количества блоков, помещаемых в один кадр. Задержка пакетирования может также называться задержкой накопления, поскольку выборки речи накапливаются в буфере, прежде чем они будут переданы.

Как правило, задержка пакетирования не должна быть более 30 мс. В маршрутизаторах/шлюзах Cisco необходимо использовать эти числа из таблицы 5.2 на основе настраиваемого размера полезной нагрузки:

Таблица 5.2: Распространенные варианты пакетирования

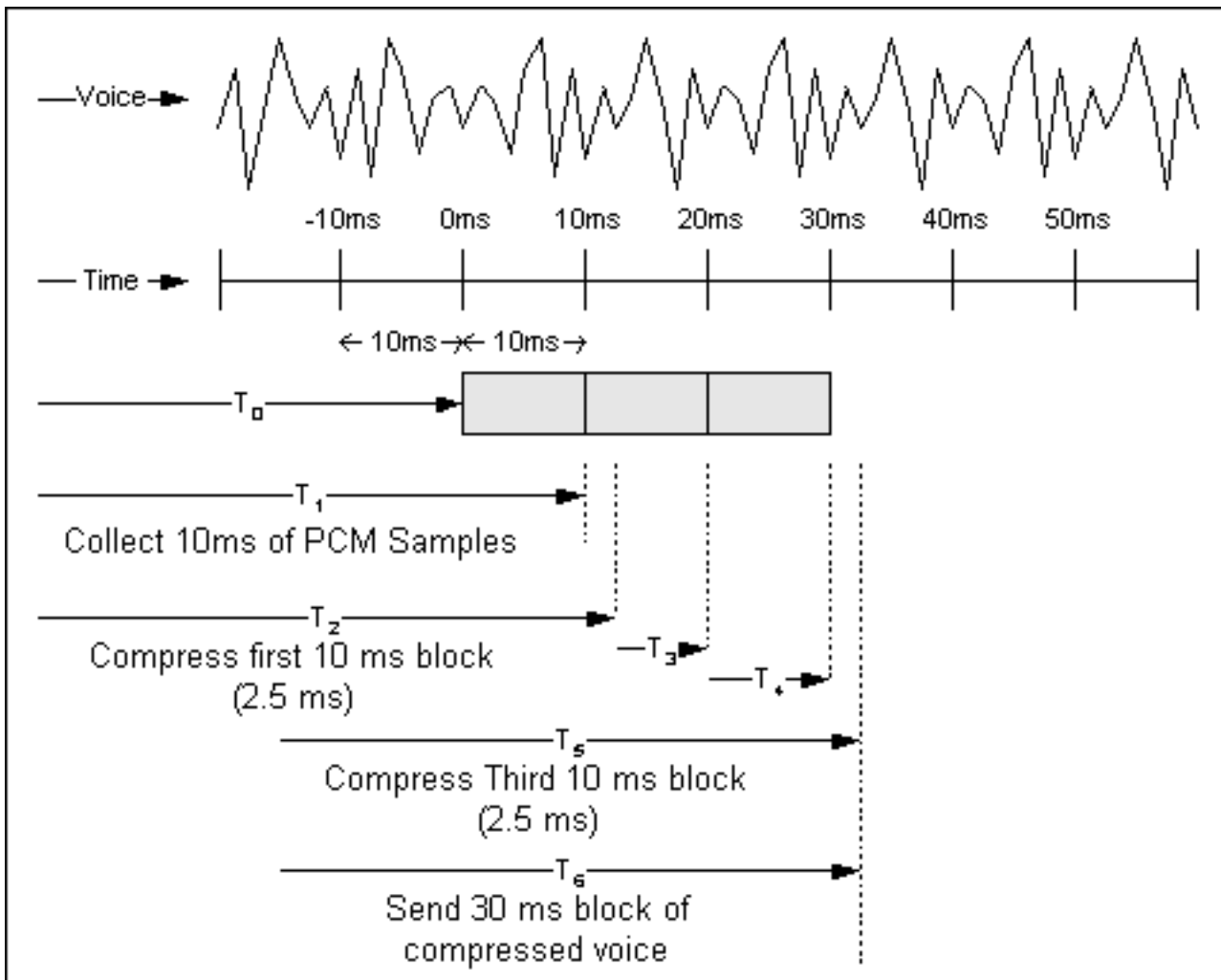
| Кодер             |              | Размер полезной нагрузки (байты) | Задержка пакетирования (мс) | Размер полезной нагрузки (байты) | Задержка пакетирования (мс) |
|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| PCM, G.711        | 64 кбайт/сек | 160                              | 20                          | 240                              | 30                          |
| ADPCM, G.726      | 32 кбит/с    | 80                               | 20                          | 120                              | 30                          |
| CS-ACELP, G.729   | 8.0 Кбит/с   | 20                               | 20                          | 30                               | 30                          |
| MP-MLQ, G.723.1   | 6.3 Кбит/с   | 24                               | 24                          | 60                               | 48                          |
| MP-ACELP, G.723.1 | 5,3 Кбит/с   | 20                               | 30                          | 60                               | 60                          |

Необходимо сбалансировать задержку пакетирования с загрузкой ЦП (центрального процессора). Чем меньше задержка, тем выше скорость кадров и тем выше загрузка ЦП. На некоторых более старых платформах полезные нагрузки в 20 мс способны потенциально вызвать перегрузку основного ЦП.

#### [Конвейерная задержка процесса пакетирования](#)

Хотя каждая выборка речи подвергается и алгоритмической задержке, и задержке пакетирования, в действительности процессы перекрываются, и существует полезный эффект от данной конвейерной обработки. Рассмотрим пример, показанный на рис. 2-1.

Рис. 5-2: Конвейерная обработка и пакетирование



Верхняя линия на рисунке изображает кривую речевого сигнала для выборки. Вторая линия — это шкала времени с шагом в 10 мс. В  $T_0$  алгоритм CS-ACELP начинает собирать выборки PCM от кодека. В  $T_1$  алгоритм собрал свой первый блок на 10 мс выборок и начинает сжимать его. В  $T_2$  сжатие первого блока примеров выполнено. В данном примере время сжатия составляет 2.5 мс, как обозначено  $T_2 - T_1$ .

Второй и третий блоки собираются на  $T_3$  и  $T_4$ . Третий блок сжат в  $T_5$ . Пакет собран и передан (предполагаемый быть мгновенным) в  $T_6$ . Благодаря конвейерности процесса компрессии и пакетизации время выдержки между началом процесса и отправкой кадра  $T_6 - T_0$  или около 32,5 микросекунд.

В иллюстративных целях этот пример основан на наилучшем варианте задержки. Если используется наихудший вариант задержки, численное значение равно 40 мс, 10 мс приходится на задержку кодировки и 30 мс — на задержку пакетирования.

Обратите внимание, что в этих примерах не включена алгоритмическая задержка.

## [Задержка сериализации](#)

Задержка сериализации ( $\sigma_n$ ) является фиксированной задержкой, требуемой хронометрировать голосовой фрейм или кадр данных на сетевой интерфейс. Она непосредственно связана с тактовой частотой в магистрали. При низкой тактовой частоте и малых размерах кадра важным является дополнительный флаг, необходимый для разделения кадров.

В таблице 5.3 показана задержка сериализации, необходимая для разных размеров кадра



при разных скоростях передачи по каналу. В этой таблице для вычисления используется суммарный размер кадра, а не полезная нагрузка.

Таблица 5.3: Задержка сериализации, выраженная в миллисекундах, для разных размеров кадра

| Размер кадра (байты) | Скорость передачи по каналу (Кбит/с) |        |        |        |       |       |       |       |       |       |      |
|----------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                      | 19.2                                 | 56     | 64     | 128    | 256   | 384   | 512   | 768   | 1024  | 1544  | 2048 |
| 38                   | 15.83                                | 5.43   | 4.75   | 2.38   | 1.19  | 0.79  | 0.59  | 0.40  | 0.30  | 0.20  | 0.15 |
| 48                   | 20.00                                | 6.86   | 6.00   | 3.00   | 1.50  | 1.00  | 0.75  | 0.50  | 0.38  | 0.25  | 0.19 |
| 64                   | 26.67                                | 9.14   | 8.00   | 4.00   | 2.00  | 1.33  | 1.00  | 0.67  | 0.50  | 0.33  | 0.25 |
| 128                  | 53.33                                | 18.29  | 16.00  | 8.00   | 4.00  | 2.67  | 2.00  | 1.33  | 1.00  | 0.66  | 0.50 |
| 256                  | 106.67                               | 36.57  | 32.00  | 16.00  | 8.00  | 5.33  | 4.00  | 2.67  | 2.00  | 1.33  | 1.00 |
| 512                  | 213.33                               | 73.14  | 64.00  | 32.00  | 16.00 | 10.67 | 8.00  | 5.33  | 4.00  | 2.66  | 2.00 |
| 1024                 | 426.67                               | 146.29 | 128.00 | 64.00  | 32.00 | 21.33 | 16.00 | 10.67 | 8.00  | 5.33  | 4.00 |
| 1500                 | 625.00                               | 214.29 | 187.50 | 93.75  | 46.88 | 31.25 | 23.44 | 15.63 | 11.72 | 7.77  | 5.86 |
| 2048                 | 853.33                               | 292.57 | 256.00 | 128.00 | 64.00 | 42.67 | 32.00 | 21.33 | 16.00 | 10.66 | 8.00 |

В таблице для канала на 64 Кбит/с речевой кадр CS-ACELP размером 38 байт (37+1 флаг) имеет задержку сериализации в 4,75 мс.

**Примечание:** Задержка сериализации для 53-байтовой ячейки ATM (T1: 0,275 мс, E1: 0,207 мс) является пренебрежимо малой благодаря высокой скорости передачи по каналу и малому размеру ячейки.

### Задержка очередности/буферизации

После создания полезной нагрузки сжатой речи добавляется заголовок, и кадр ставится в очередь для передачи по сетевому соединению. Речь должна обладать абсолютным приоритетом в маршрутизаторе/шлюзе. Поэтому речевой кадр должен ожидать только кадр данных, который уже обрабатывается, или другие речевые кадры, находящиеся впереди его. По существу, речевой кадр ожидает в течение задержки сериализации любые предшествующие кадры в очереди вывода. Задержка постановки в очередь ( $R_n$ ) является переменной задержкой, зависящей от скорости магистрали и состояния очереди. С задержкой в очереди связаны случайные элементы.

Например, предположим, что имеется канал на 64 Кбит/с и что кадр находится в очереди

после одного кадра данных (48 байт) и одного речевого кадра (42 байта). Так как объем переданного кадра длиной 48 байт в момент постановки интересующего кадра в очередь является случайной величиной, можно смело предположить, что в среднем уже передана половина кадра данных. На основе информации из таблицы сериализации составляющая кадра данных равна  $6 \text{ мс} * 0,5 = 3 \text{ мс}$ . При добавлении времени для другого речевого кадра, находящегося впереди в очереди (5,25 мс), получаем общее время задержки в очереди равное 8,25 мс.

Проектировщик сети самостоятельно выбирает способы описания задержки в очереди. Как правило, необходимо проектировать в расчете на сценарий худшего случая, а затем подстроить временные характеристики после установки сети. Чем больше каналов передачи речи доступно пользователям, тем выше вероятность ожидания усредненного речевого пакета в очереди. Благодаря структуре приоритетов речевой кадр никогда не находится в очереди сзади более чем одного кадра данных.

### Задержка коммутации сети

Общедоступная сеть Frame Relay или сеть ATM, связывающая местоположения конечных точек, является источником самых больших задержек для речевых соединений. Задержек коммутации сети ( $w_n$ ) является также самым трудным определить количество.

Если глобальное соединение обеспечивается оборудованием Cisco или другой частной сетью, можно определить отдельные компоненты задержки. В общем случае фиксированные компоненты обусловлены задержкой распространения сигналов в магистралях сети, а переменные задержки возникают из-за задержек в очереди тактовых кадров на входе и выходе промежуточных коммутаторов. Чтобы оценить задержку распространения сигналов, широко применяется оценка в 10 микросекунд на милю или 6 мкс/км (G.114). Однако промежуточное мультиплексное оборудование, ретрансляционные микроволновые каналы и другие факторы, существующие в коммуникационных сетях, создают много исключений.

Другая значительная составляющая задержки происходит от постановки в очередь внутри глобальной сети. В частной сети существует возможность измерения существующих задержек в очереди или оценки баланса задержек, приходящихся на один переход в глобальной сети.

Типичные задержки сетей передачи информации для соединений Frame Relay в США равны 40 мс фиксированной и 25 мс переменной задержки для худшего случая общей задержки в 65 мс. Для простоты в примерах 6-1, 6-2 и 6-3 все задержки сериализации, обусловленные низкой скоростью передачи данных, включаются в 40 мс фиксированной задержки.

Это численные значения, опубликованные поставщиками услуг Frame Relay, чтобы охватить покрытие связью любых мест в пределах Соединенных Штатов Америки. Ожидается, что два местоположения, которые географически ближе, чем в худшем случае, имеют меньшие значения задержки, однако поставщики услуг связи обычно документируют только наихудший случай.

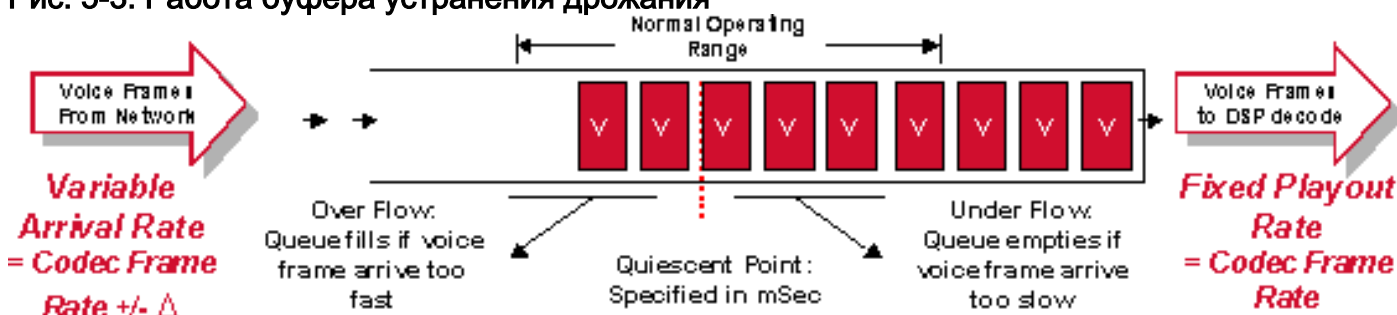
Поставщики услуг связи, использующие технологию Frame Relay, в некоторых случаях предоставляют услуги превосходного качества. Эти услуги обычно предназначены для передачи речи или трафика системной сетевой архитектуры (SNA), где гарантируются определенные значения сетевой задержки, которые ниже задержек для стандартного уровня услуг. Например, одна из компаний США недавно объявила о предоставлении

услуги с предельным временем общей задержки в 50 мс, по сравнению с 65 мс для стандартных услуг связи.

## Задержка, связанная с устранением "дрожания"

Так как передача речи представляет собой услугу связи с постоянной битовой скоростью, дрожание должно быть удалено из всех переменных задержек до выхода сигнала за пределы сети. В маршрутизаторе Cisco / шлюзы это выполнено с минимизирующими изменениями задержки прихода пакетов ( $\Delta n$ ) буфер в дальнем конце (получение) маршрутизатор/шлюз. Минимизирующий изменения задержки прихода пакетов буфер преобразовывает переменную задержку в фиксированную задержку. Им удерживается первая выборка, получаемая в течение некоторого периода времени, прежде чем эта выборка будет подана на выход. Данный период удерживания известен как начальная задержка вывода.

Рис. 5-3: Работа буфера устранения дрожания



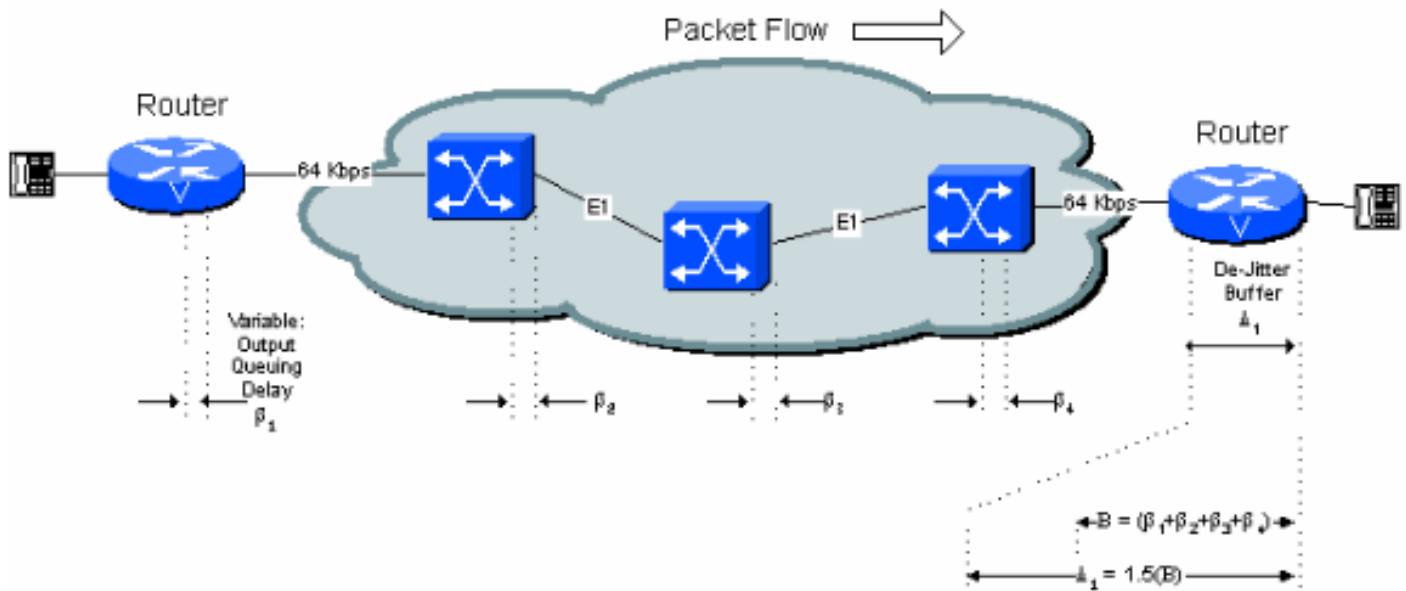
Необходимо надлежащим образом настроить буфер устранения дрожания. Если выборки удерживаются в течение слишком короткого времени, изменения в задержке могут потенциально вызвать недогрузку буфера и привести к появлению пауз в речи. Если выборка удерживается в течение слишком долгого времени, может произойти переполнение буфера и потерянные пакеты снова приведут к паузам в речи. Наконец, если пакеты удерживаются слишком долгое время, общая задержка в соединении может подняться до неприемлемых уровней.

Оптимальная начальная задержка воспроизведения для буфера устранения дрожания равняется общей переменной задержке на соединении. Это показано на рис. 5-4.

**Примечание:** Минимизирующие изменения задержки прихода пакетов буфер могут быть адаптивными, но исправлена максимальная задержка. Когда адаптивные буферы являются настраиваемыми, задержка становится переменным значением. Однако в целях проектирования как наилучший вариант может использоваться максимальная задержка.

Для получения дополнительной информации об адаптивных буферах обратитесь к [Усовершенствованиям Задержки воспроизведения для Передачи голоса по IP](#).

Рисунок 5 - 4: Переменная задержка и буфер устранения дрожания



Начальная задержка воспроизведения является настраиваемой. Максимальный размер буфера до его переполнения обычно устанавливается в 1,5 или 2,0 раза больше, чем это значение.

Если используется настройка номинальной задержки в 40 мс, первая выборка речи, получаемая, когда буфер устранения дрожания является пустым, удерживается в течение 40 мс, прежде чем она будет воспроизведена. Этим подразумевается, что последующий пакет, получаемый из сети, может быть задержан (относительно первого пакета) максимум на 40 мс без какой-либо утраты непрерывности речи. Если пакет задерживается более чем на 40 мс, буфер устранения дрожания очищается, и следующий получаемый пакет удерживается в течение 40 мс, прежде чем будет воспроизведен для сброса буфера в исходное состояние. Это приводит к паузе около 40 мс в воспроизводимой речи.

Реальным вкладом буфера устранения дрожания в задержку является начальная задержка воспроизведения, характерная для буфера устранения дрожания, плюс фактический размер первого пакета, буферизованного в сеть. В наихудшем случае это удвоенная начальная задержка буфера устранения дрожания (предполагается, что первый пакет, передаваемый по сети, подвергся минимальной задержке буферизации). На практике через некоторое количество переходов по коммутаторам сети, вероятно, нет необходимости предполагать худший случай. В расчетах в примерах оставшейся части данного документа увеличена задержка начального воспроизведения с коэффициентом 1,5, чтобы учесть этот эффект.

**Примечание:** В принимающем маршрутизаторе / шлюз существует задержка через функцию распаковки. Однако эта задержка учитывается путем ее суммирования вместе с задержкой обработки сжатия, как описывалось ранее.

## Создайте баланс задержек

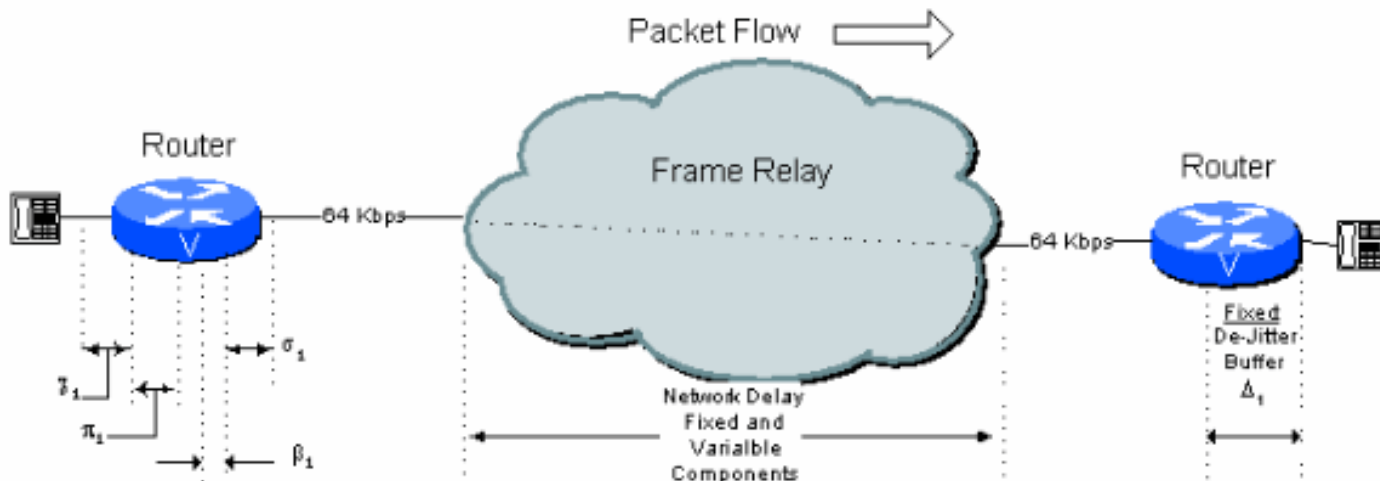
Общепринятый предел для задержки соединения с хорошим качеством передачи речи равен 200 мс в одном направлении (или 250 мс в качестве предельного значения). Когда задержки превышают это значение, происходит рассинхронизация говорящего и слушающего, причем часто обе стороны говорят одновременно или обе ожидают ответа. Это состояние обычно называют перекрытием. Хотя общее качество речи является приемлемым, пользователи иногда считают неестественную природу разговора недопустимо раздражающей. Перекрытие говорящего абонента можно наблюдать на

международных телефонных вызовах, которые проходят через спутниковые подключения (задержка спутника составляет порядка 500 мс, 250 мс в направлении к спутнику и 250 мс в направлении от спутника).

Эти примеры иллюстрируют различные конфигурации сети и задержки, которые должны учитываться разработчиком сети.

### Одноходовое подключение

Рис. 6-1: Пример подключения в один переход



Показанное на этом рисунке типичное подключение в один переход по общедоступной сети Frame Relay может иметь баланс задержек, приведенный в таблице 6.1.

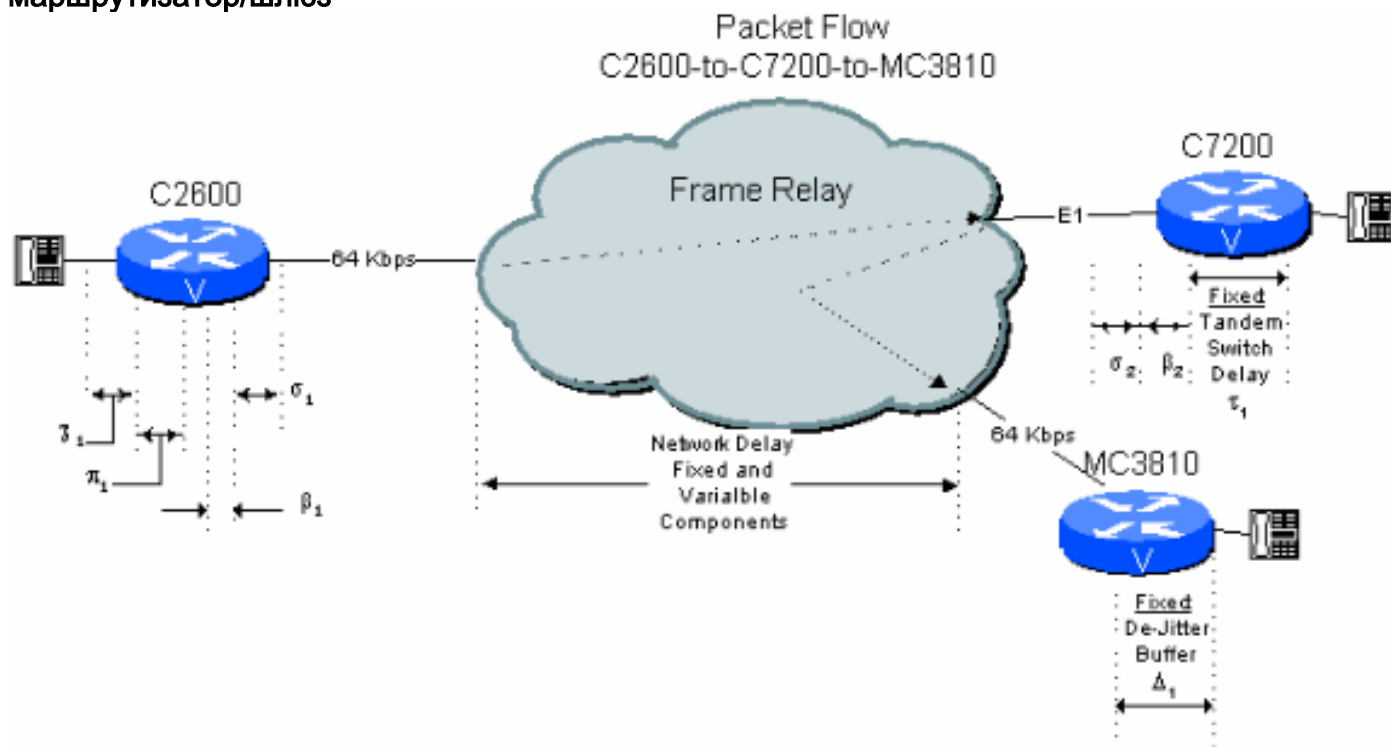
Таблица 6.1: Расчет задержки подключения в один переход

| Тип задержки  | Фиксированная (мс) | Переменная (мс) |
|---|--------------------|-----------------|
| Задержка кодировки, $\chi_1$  | 18                 |                 |
| Задержка пакетирования, $\pi_1$                                     | 30                 |                 |
| Постановка в очередь/буферизация, $\gamma_1$                        |                    | 8               |
| Задержка сериализации (64 кбит/с), $\sigma_1$                       | 5                  |                 |
| Задержка сети (общий фрейм), $\omega_1$                             | 40                 | 25              |
| Буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов, $\Delta_1$ | 45                 |                 |
| Общие количества  | 138                | 33              |

**Примечание:** Начиная с задержки в очереди и переменного компонента Задержки сети уже считается в рамках вычислений минимизирующего изменения задержки прихода пакетов буфер, Вся задержка является эффективно только суммой всей Фиксированной задержки. В этом случае вся задержка составляет 138 мс.

## Два Перехода на Сети общего пользования с с7200, что законы как Спаренный коммутатор

Рис. 6-2: Пример подключения в два перехода в общедоступной сети с тандемом маршрутизатор/шлюз



Теперь рассмотрим подключение ветвь-ветвь в сети с топологией "звезда", где C7200 в центральном узле направляет вызов в ветвь сети. В этом случае сигнал проходит в сжатом виде через центральный коммутатор C7200. Результатом этого является значительная экономия в бюджете задержек по сравнению с бюджетом приведенного ниже примера: «Подключение в два перехода через общедоступную сеть при помощи тандемного коммутатора PBX».

Таблица 6.2: Расчет задержки подключения в два перехода через общедоступную сеть при помощи тандемного маршрутизатора/шлюза

| Тип задержки                                  | Фиксированная (мс) | Переменная (мс) |
|---|--------------------|-----------------|
| Задержка кодировки, $\chi_1$                  | 18                 |                 |
| Задержка пакетирования, $\pi_1$               | 30                 |                 |
| Постановка в очередь/буферизация, $\beta_1$   |                    | 8               |
| Задержка сериализации (64 кбит/с), $\sigma_1$ | 5                  |                 |
| Задержка сети (общий фрейм), $\omega_1$       | 40                 | 25              |
| Тандемная задержка MC3810, $\tau_1$           | 1                  |                 |
| Помещение в очередь/буфер,                    |                    | 0.2             |

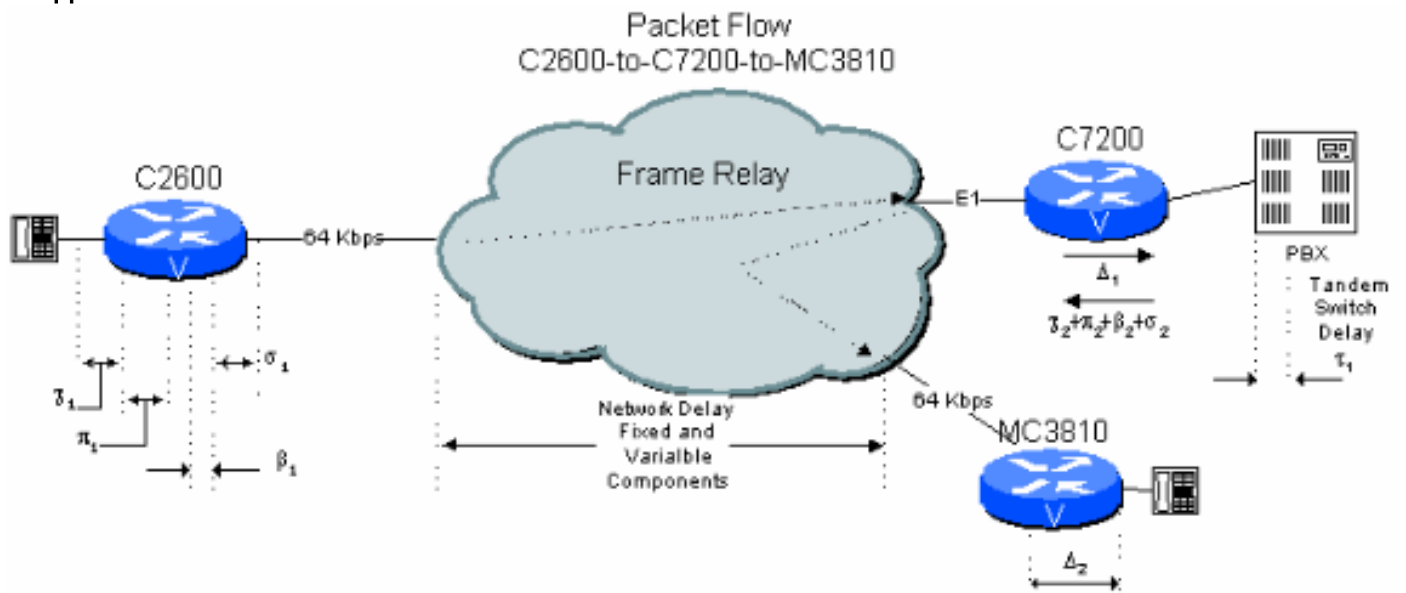


|   |       |      |
|---|-------|------|
| $\beta_2$   |       |      |
| Задержка сериализации (2 Мбит/с), $\sigma_2$                        | 0.1   |      |
| Задержка сети (общий фрейм), $\omega_2$                             | 40    | 25   |
| Буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов, $\Delta_1$ | 75    |      |
| Общие количества  | 209.1 | 58.2 |

**Примечание:** Начиная с задержки в очереди и переменного компонента Задержки сети уже считается в рамках вычислений минимизирующего изменения задержки прихода пакетов буфер, Вся задержка является эффективно только суммой всей Фиксированной задержки. В данном случае итоговая задержка равна 209.1 мс.

[Двойное соединение через публичную сеть при помощи спаренного коммутатора телефонной сети для частного пользования](#)

**Рисунок 6-3:** Пример подключения в два перехода через общедоступную сеть при помощи тандема PBX



Рассмотрим подключение «ветвь-ветвь» в сети «ветвь-центральный узел», где C7200 в центральном узле передает подключение через PBX центра управления для коммутации сигналов. Здесь речевой сигнал должен быть разделен, очищен от дрожания, а затем повторно сжат и очищен от дрожания второй раз. В результате этого появляются дополнительные задержки по сравнению с предыдущим примером. Кроме того, два цикла сжатия CS-ACELP ухудшают качество передачи речи (см. раздел «Эффекты многократных циклов сжатия»).

**Таблица 6.3:** Расчет задержки подключения с двумя переходами в общедоступной сети при помощи тандема PBX

| Тип задержки | Фиксированная (мс) | Переменная (мс) |
|--------------|--------------------|-----------------|
|--------------|--------------------|-----------------|

|   |       |      |
|---|-------|------|
| Задержка кодировки, $\chi_1$  | 18    |      |
| Задержка пакетирования, $\pi_1$                                     | 30    |      |
| Постановка в очередь/буферизация, Я1                                |       | 8    |
| Задержка сериализации (64 кбит/с), $\sigma_1$                       | 5     |      |
| Задержка сети (общий фрейм), $\omega_1$                             | 40    | 25   |
| Буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов, $\Delta_1$ |       | 40   |
| Задержка кодировки, $\chi_2$  | 15    |      |
| Задержка пакетирования, $\pi_2$                                     | 30    |      |
| Помещение в очередь/буфер, $\beta_2$                                |       | 0.1  |
| Задержка сериализации (2 Мбит/с), $\sigma_2$                        | 0.1   |      |
| Задержка сети (общий фрейм), $\omega_2$                             | 40    | 25   |
| Буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов, $\Delta_2$ | 40    |      |
| Общие количества  | 258.1 | 58.1 |

**Примечание:** Начиная с задержки в очереди и переменного компонента Задержки сети уже считается в рамках вычислений минимизирующего изменения задержки прихода пакетов буфер, Вся задержка является эффективно только суммой всей Фиксированной задержки плюс буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов. В данном случае итоговая задержка равна 258,1 мс.

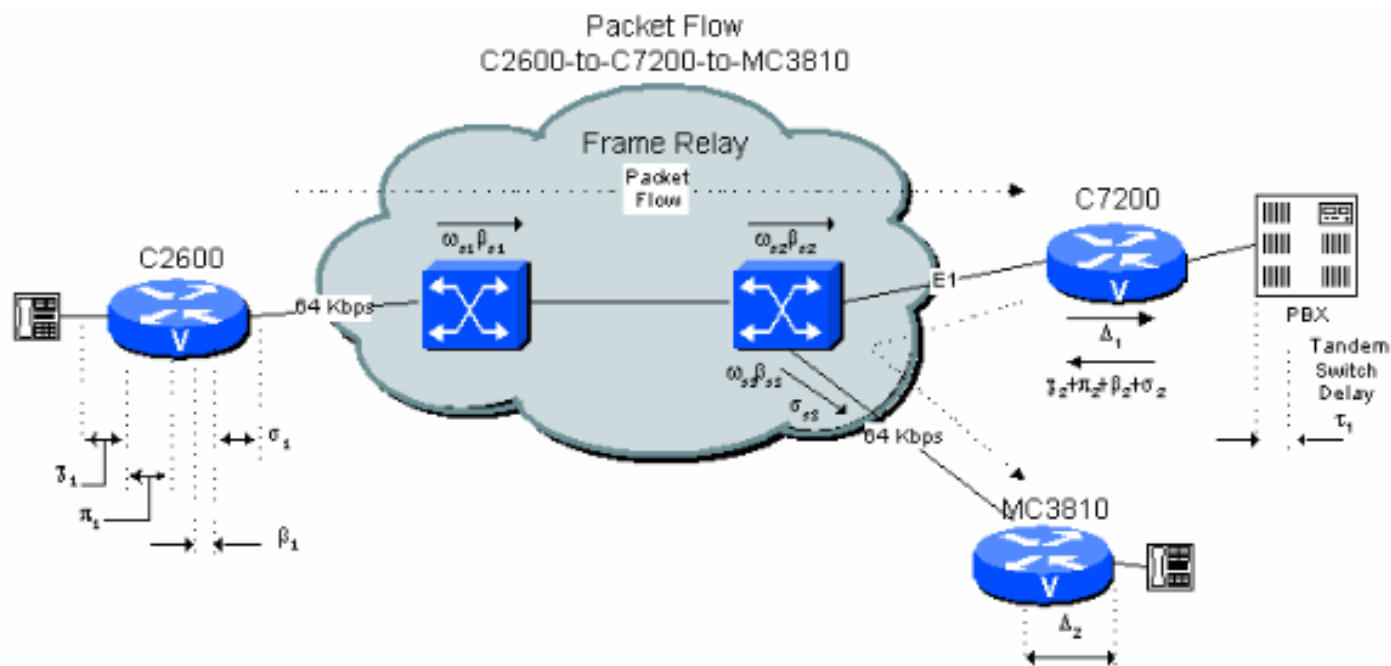
Если в центральном узле в качестве коммутатора используется PBX, задержка однонаправленного подключения увеличивается с 206 до 255 мс. Это значение близко к пределам, установленным международным союзом телекоммуникаций (ITU) для однонаправленной задержки. В случае конфигурации сети этого типа от инженера требуется особое внимание, чтобы спроектировать сеть с минимальной задержкой.

Худший случай предполагается для переменной задержки (хотя для обеих ветвей в общедоступной сети не наблюдаются одновременно максимальные задержки). Если сделать более оптимистичные предположения в отношении переменных задержек, это лишь немного улучшит ситуацию. Однако, обладая более полными сведениями о фиксированных и переменных задержках в сети Frame Relay, принадлежащей поставщику услуг связи, расчетную задержку можно уменьшить. Можно ожидать, что локальные соединения (например между штатами) имеют намного лучшие характеристики задержек, но поставщики услуг связи часто с большой неохотой сообщают предельные значения задержек.



## Двухходовое подключение через частную сеть со спаренным переключателем PBX

Рисунок 6-4: Пример двухинтервальной частной сети с последовательным соединением PBX



В примере 4.3 показывается, что в предположении задержек для худшего случая очень трудно получить расчетную задержку меньше 200 мс, когда подключение «ветвь-ветвь» включает в себя переход тандемной PBX в центральном узле с подключениями общедоступной сети Frame Relay на каждой стороне. Однако, если известны топология сети и трафик, возможно значительное уменьшение расчетного численного значения. Это объясняется тем, что численные значения, обычно предоставляемые поставщиками услуг связи, ограничиваются худшим случаем задержек передачи и задержки в очереди в глобальной сети. Намного проще установить более обоснованные границы в частной сети.

Общепринятое значение задержки передачи между коммутаторами составляет порядка 10 мкс на милю (6,2 мкс/км). В зависимости от оборудования задержка передачи данных между коммутаторами в сети Frame Relay должна быть порядка 1 мс фиксированной задержки и 5 мс переменной задержки для постановки в очередь. Эти значения зависят от оборудования и трафика. Значения задержек для коммутаторов Cisco MGX WAN в сумме меньше 1 мс на каждый коммутатор, если используются магистрали E1/T1. Предполагая, что расстояние между связываемыми пунктами равно 500 милям (805 км) с 1 мс фиксированной и 5 мс переменной задержки для каждого перехода, расчет задержки дает следующий результат:

Таблица 6.4: Расчет подключения в два перехода через частную сеть при помощи тандема PBX

| Тип задержки                    | Фиксированная (мс) | Переменная (мс) |
|---------------------------------|--------------------|-----------------|
| Задержка кодировки, $\chi_1$    | 18                 |                 |
| Задержка пакетирования, $\pi_1$ | 30                 |                 |
| Постановка в                    |                    | 8               |

|   |       |      |
|---|-------|------|
| очередь/буферизация, Я1   |       |      |
| Задержка сериализации (64 кбит/с), $\sigma_1$   | 5     |      |
| Задержка сети (закрытый фрейм), $\omega_{S1} + \beta_{S1} + \omega_{S2} + \beta_{S2}$ | 2     | 10   |
| Буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов, $\Delta_1$                   | 40    |      |
| Задержка кодировки, $\chi_2$  | 15    |      |
| Задержка пакетирования, $\pi_2$   | 30    |      |
| Помещение в очередь/буфер, $\beta_2$  |       | 0.1  |
| Задержка сериализации (2 Мбит/с), $\sigma_2$  | 0.1   |      |
| Задержка сети (закрытый фрейм), $\omega_{S3} + \beta_{S3}$                            | 1     | 8    |
| Задержка сериализации (64 кбит/с), $\sigma_{S3}$                                      | 5     |      |
| Буфер минимизирующий изменения задержки прихода пакетов, $\Delta_2$                   | 40    |      |
| Задержка передачи/расстояния (неразделенная)  | 5     |      |
| Общие количества  | 191.1 | 26.1 |

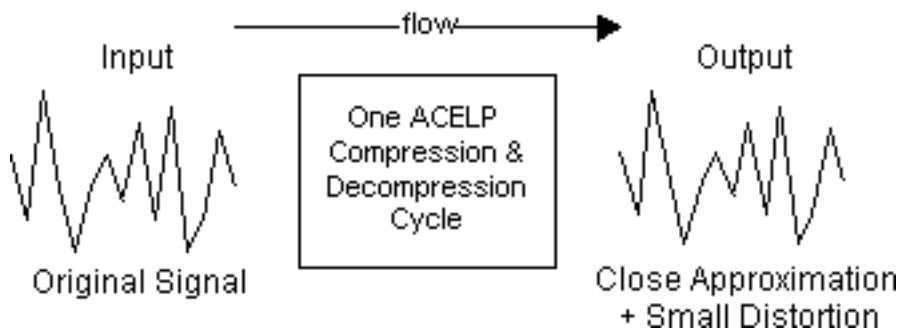
**Примечание:** Начиная с задержки в очереди и переменного компонента Задержки сети уже считается в рамках вычислений минимизирующего изменении задержки прихода пакетов буфер, Вся задержка является только суммой всей Фиксированной задержки. В данном случае итоговая задержка равна 191,1 мс.

При выходе за пределы частной сети Frame Relay можно установить соединение между подключением конечный маршрутизатор — конечный маршрутизатор через PBX на узле концентратора и остаться в пределах значения задержки в 200 мс.

## [Следствия многократных циклов сжатия](#)

Алгоритмы сжатия CS-ACELP не являются детерминированными. Это означает, что поток входных данных не совпадает в точности с потоком выходных данных. Небольшая величина искажений вводится с каждым циклом сжатия, как показано на рис. 7-1.

**Рисунок 7-1: Эффекты сжатия**



Поэтому несколько циклов сжатия CS-ACELP быстро вводят значительные уровни искажения. Данный аддитивный эффект искажения не такой, как объявленный эффект в алгоритмах адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ADPCM).

Влияние этой характеристики заключается в том, что помимо эффектов задержки проектировщик сети должен учитывать количество циклов сжатия CS-ACELP на пути прохождения сигнала.

Качество речи является субъективным показателем. Большинство пользователей сочтут, что при двух циклах сжатия по-прежнему обеспечивается достаточное качество передачи речи. Третий цикл сжатия обычно приводит к заметному ухудшению, которое может быть неприемлемым для некоторых пользователей. Как правило, проектировщик сети должен ограничить количество циклов сжатия CS-ACELP на пути прохождения сигнала двумя циклами. Если требуется использовать большее количество циклов сжатия, следует сначала предоставить заказчику возможность прослушать передаваемую речь.

В предыдущих примерах показано, что, когда соединение «ветвь-ветвь» устанавливается тандемным коммутатором через PBX (в PCM-виде) на центральном узле, сигнал подвергается значительно большей задержке, чем если бы он коммутировался тандемным коммутатором в центре управления C7200. Понятно, что если для коммутации используется PBX, на пути прохождения сигнала выполняются два цикла сжатия CS-ACELP вместо одного цикла, когда речь, разбитая на кадры, коммутируется центральным коммутатором C7200. Качество речи выше в примере (4.2), где коммутация осуществляется с помощью C7200, хотя могут существовать другие причины, например управление схемой вызовов, которые могут потребовать включения PBX в путь прохождения сигнала.

Если соединение «ветвь-ветвь» выполняется через центральную PBX и из второй ветви вызов распространяется по общедоступной сети, а затем завершается в сотовой телефонной сети, имеют место три цикла сжатия CS-ACELP и значительно более высокое значение задержки. В этом сценарии качество передаваемой речи значительно ухудшается. Проектировщик сети вновь должен рассмотреть худший случай пути прохождения вызова и принять решение, является ли такой вариант приемлемым с точки зрения пользователей сети, ожиданий и профессиональных требований.

## [Замечания по подключениям с высокой задержкой](#)

Относительно просто разработать сети для передачи речевых пакетов, в которых будет превышать предельное значение однонаправленной задержки в 150 мс, принятое Международным союзом телекоммуникаций (ITU).

Когда проектируются сети для передачи речевых пакетов, инженер-проектировщик должен ответить на следующие вопросы: как часто будет использоваться такое соединение, каковы запросы пользователей, и работники какой отрасли будут эксплуатировать сеть. Нередко

такие соединения являются приемлемыми в определенных обстоятельствах.

Если соединения Frame Relay не простираются на большое расстояние, вполне вероятно, что параметры задержек в сети будут лучше параметров, показанных в примерах.

Если общая задержка, существующая в соединениях тандемных маршрутизаторов/шлюзов, становится слишком большой, решение проблемы часто заключается в настройке дополнительных постоянных виртуальных цепей непосредственно между оконечными устройствами MC3810. В результате этого при эксплуатации сети появляются периодические затраты, так как поставщики услуг связи обычно взимают плату за каждый постоянный виртуальный канал, но в некоторых случаях это может быть насущной необходимостью.

## [Дополнительные сведения](#)

- [Международный союз электросвязи](#)
- [Поддержка голосовых технологий](#)
- [Поддержка продуктов Голосовой и Унифицированной связи](#)
- [Устранение неполадок в системах IP-телефонии Cisco](#)
- [Техническая поддержка - Cisco Systems](#)