Модели обслуживания очередей

Лекция

Службы QoS

- **Best effort** – обработка информации как можно быстрее, но без дополнительных усилий (FIFO, drop tail).
- **Мягкий QoS** (DiffServ) – сервис с предпочтениями. Приоритетное обслуживание, значения параметров QoS зависят от характеристик трафика.
- **Жесткий QoS** (IntServ) – гарантированный сервис. Основан на предварительном резервировании ресурсов для каждого потока.

Базовая архитектура службы QoS

Средства QoS узла

- Механизмы обслуживания очередей
- Механизмы профилирования трафика

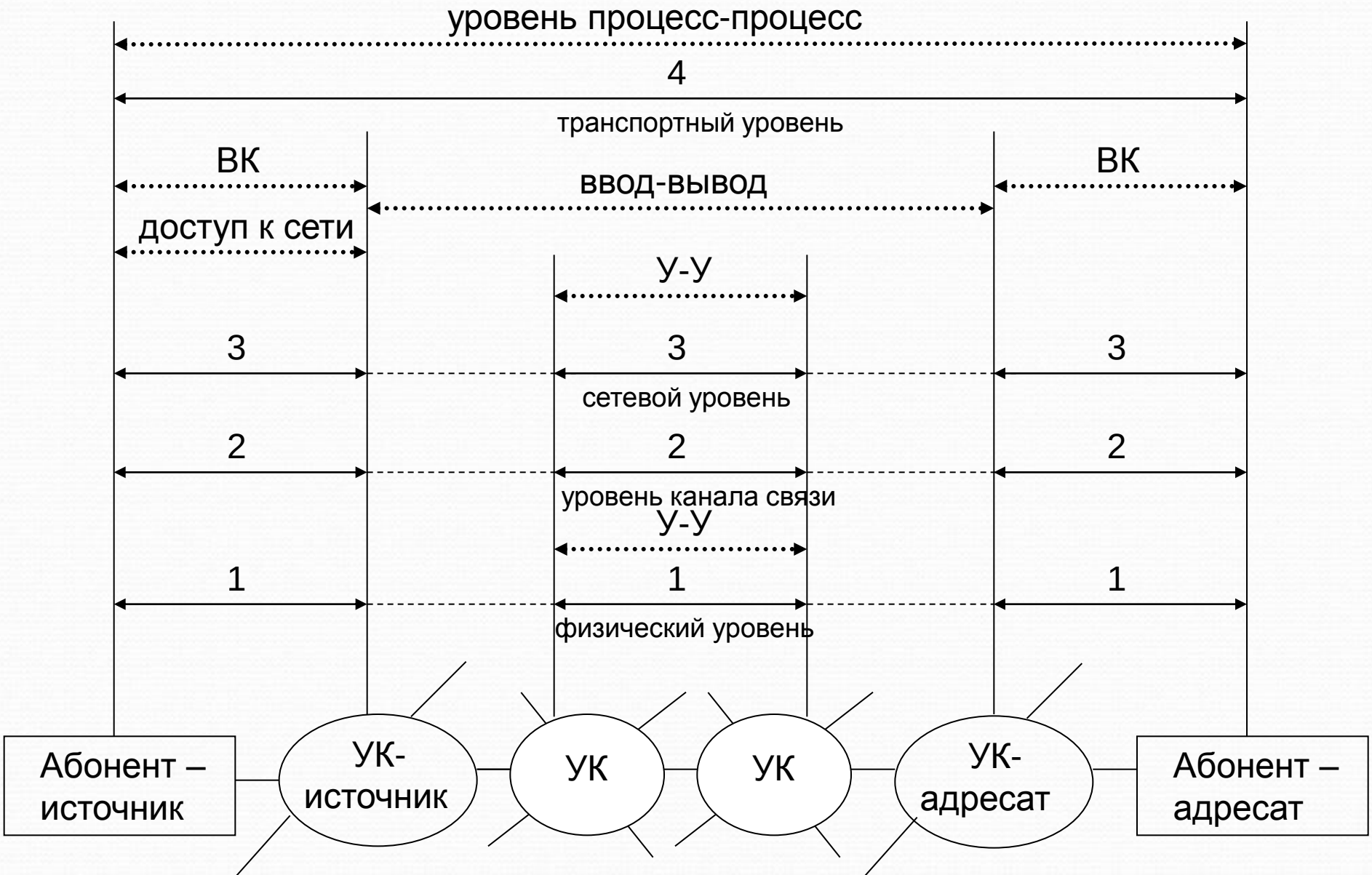
Протоколы QoS-сигнализации

- Резервирование ресурсов
- Приоритет
- QoS-маршрутизация

Централизованная политика

- Немедленной доставки
- Гарантированной доставки

Уровни архитектуры сети и соответствующие им уровни управления потоками



Общая характеристика алгоритмов маршрутизации в сетях с КП

- Основной критерий маршрутизации в сетях с КП – среднее время задержки пакета в сети.
- В сетях с КП маршрутизация может быть централизованной и распределенной.
- Характеристики алгоритма адаптивной маршрутизации:
  - способ рассылки информации, используемый для построения маршрутных матриц УК;
  - период обновления маршрутных матриц УК.

Стратегии маршрутизации

- ***Лавинная и случайная***;
- ***На основе состояния линий***, связанных только с данным УК:
  - «кратчайшая очередь + смещение»;
  - метод деления нагрузки: «суммарный вес пути = вес пути по маршрутной матрице + число свободных мест в очереди + деление потока с определенной вероятностью»;
  - метод переполнения – наивысший ранг назначается линии, в очереди к которой отсутствуют пакеты;
- ***Распределенная адаптивная*** – метод рельефов;
  - асинхронная – обмен управляющей информацией происходит через постоянные интервалы времени;
  - синхронная – в моменты, когда контролируемые параметры достигают пороговых значений.
- ***Гибридная адаптивная*** – дельта-маршрутизация. ЦУС вычисляет средние показатели маршрутов между парой УК. Выбор конкретного пути осуществляется в УК на основе собственной информации о длинах очередей, об отказах.

Общая характеристика алгоритмов управления потоками в сетях с КП

<u>Функции уровней управления потоками:</u>

У-У: протоколы, позволяющие избегать блокировок в сети, путем ограничения нагрузки, поступающей в узел, и выходить из них.

<u>Модели управления потоками на уровне **У-У**:</u>

- *Схема ограничения очереди к каналу:*

1. Модель полного разделения, для которой справедливо ограничение $0 \le n_i \le B/n$, $\forall i$, где – n число исходящих каналов; n_i – число пакетов в i-ой очереди; B – размер УК;
2. Модель распределения по максимальным очередям $0 \le n_i \le b_{max}$, $\forall i$, $\sum n_i \le B$, где $b_{max} > B/n$ – максимально допустимый размер очереди;
3. Модель распределения по минимальному размещению $\sum \max(0, n_i - b_{min}) \le B - nb_{min}$, где b_{min} – минимальный размер буфера, который гарантируется для каждой очереди, как правило, $b_{min} \le B/n$;
4. Модель распределения по минимальному размещению и максимальной очереди (совмещение моделей 2 и 3).

- Схемы буферного класса. Буферы распределяются в соответствии с длиной пути, определяемой числом ветвей, составляющих этот путь.

Уровень доступа: ограничение входящей нагрузки с целью исключения перегрузки сети.

<u>Перегрузка:</u>

- локальная;
- глобальная;
- селективная.

<u>Модели управления уровня доступа:</u>

1. Изаритмическая – ограничение общего числа пакетов, находящихся в сети в каждый момент времени. Множество разрешений.
2. Метод ограничения объема входного буфера – ограничение входной нагрузки в УК в зависимости от величины транзитной нагрузки в этом УК.
3. Метод посылок – ограничение поступающей в сеть нагрузки при перегрузки ветвей в оптимальном маршруте, выбранном адаптивной маршрутизацией.

Ввод-вывод: предотвращение переполнения буфера выходного узла с помощью регулирования входного потока на соответствующем узле.

Методы управления потоком основаны на понятии «окна». Основной параметр – ширина или размер окна.

ВК: управление сквозной транспортировкой данных между парой источник-адресат, взаимодействующих через логическое соединение (ВК).

Типы перегрузок в сети

- Общая сетевая перегрузка;
- Сосредоточенная перегрузка;
- Перегрузка коммутационной системы;
- Перегрузка пучков каналов.

Причины перегрузок в сетях

- Резкое увеличение скорости входящего потока информации;
- Нештатные ситуации при адресации;
- Недостаточный объем буфера на узле;
- Недостаточная производительность узла;
- Отказ оборудования;
- и т.д.

Общие принципы борьбы с перегрузкой:

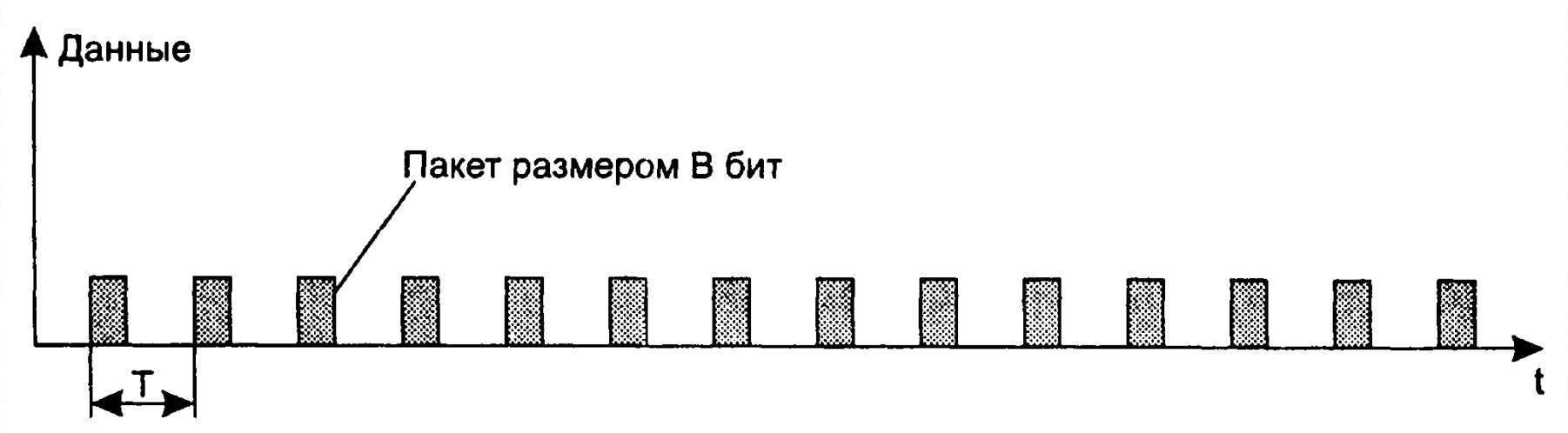
- Наблюдение за системой (мониторинг).
- Передача информации о возможной перегрузке.
- Принятие необходимых мер для предотвращения перегрузки.
- Принятие необходимых мер для устранения перегрузки при ее возникновении.

Основные критерии классификации трафика

- Относительная предсказуемость скорости передачи данных. Трафики делятся на два типа – потоковый и пульсирующий.
- Чувствительность трафика к задержкам пакетов.
- Чувствительность трафика к потерям и искажениям пакетов.

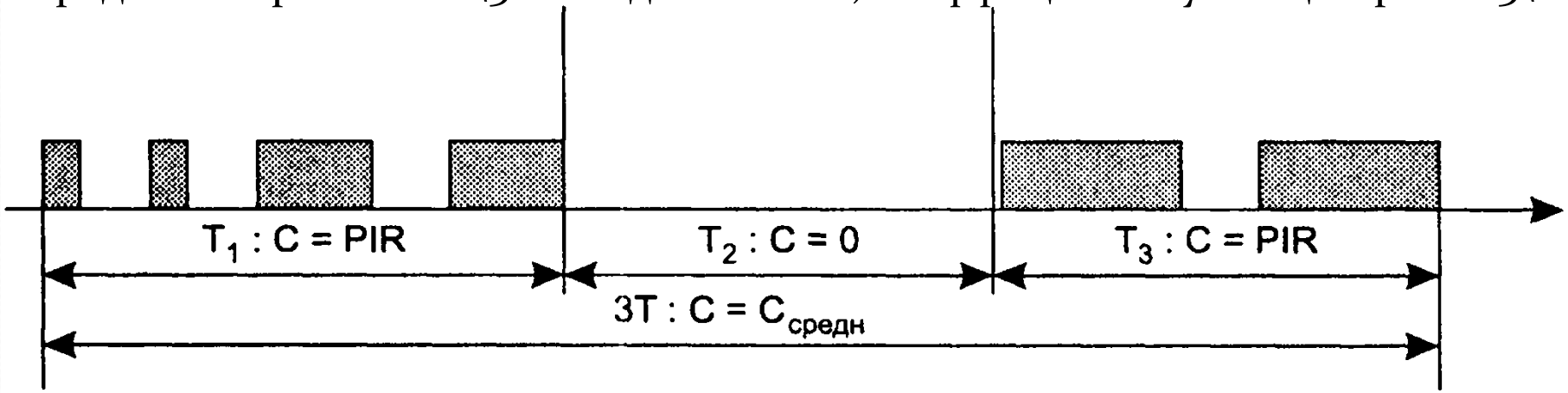
Потоковый трафик

- При использовании метода коммутации пакетов такой трафик представляет собой последовательность пакетов одинакового размера B, следующих друг за другом через одинаковый интервал времени T. Постоянная скорость потокового трафика может быть вычислены путем усреднения на периоде C=B\T.



Пульсирующий трафик

- Приложения с пульсирующим трафиком отличаются высокой степенью непредсказуемости, когда периоды молчания сменяются пульсацией, в течение которой пакеты плотно следуют друг за другом.
- Характеристикой пульсирующего трафика является величина пульсации – количество битов, переданное за период пульсации. В периоды T1 и T3 пульсация равна B, а в период T2 – нулю.
- Другая характеристика – коэффициент пульсации. Он равен отношению пиковой скорости на небольшом периоде времени к средней скорости трафика. В нашем случае пиковая скорость на периодах T1 и T3 равна B\T, а средняя скорость – 2B\3T. Следовательно, коэффициент пульсации равен 3\2.



Чувствительность к задержкам пакетов

- **Синхронные** приложения и асинхронные (неэластичные и эластичные). Более детализованное деление по степени чувствительности к задержкам.
- **Асинхронные** приложения – практически нет ограничений на время задержки пакетов (эластичный трафик). Пример – электронная почта.
- **Интерактивные** приложения. Задержки могут быть замечены пользователями, но не сказываются на функциональности приложений.
- **Изохронные** приложения имеют порог чувствительности к задержкам, при превышении которого резко снижается функциональность приложения. Пример – передача голоса. При задержках выше 100-150 мс резко снижается качество воспроизводимого голоса.
- **Сверхчувствительные** к задержкам приложения – задержка сводит функциональность приложения к нулю. Пример – приложения, управляющие техническим объектом в режиме реального времени. Запаздывание управляющего сигнала может привести к аварии.

Чувствительность к потере пакетов

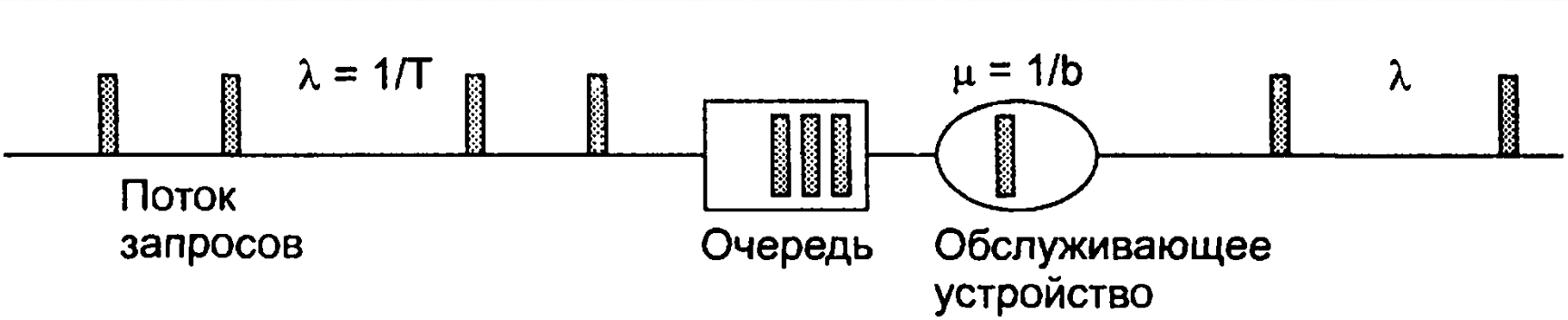
- **Приложения, чувствительные к потере данных**. Практически все приложения, передающие алфавитно-цифровые данные (к которым относятся текстовые документы, коды программ, числовые массивы и т. п.), обладают высокой чувствительностью к потере отдельных, даже небольших, фрагментов данных. Такие потери часто ведут к полному обесцениванию остальной, успешно принятой информации. Например, отсутствие хотя бы одного байта в коде программы делает ее совершенно неработоспособной. Все традиционные сетевые приложения (файловый сервис, сервис баз данных, электронная почта и т. д.) относятся к этому типу приложений.
- **Приложения, устойчивые к потере данных**. К этому типу относятся многие приложения, передающие трафик с информацией об инерционных физических процессах. Устойчивость к потерям объясняется тем, что небольшое количество отсутствующих данных можно определить на основе принятых. Так, при потере одного пакета, несущего несколько последовательных замеров голоса, отсутствующие замеры при воспроизведении голоса могут быть заменены аппроксимацией на основе соседних значений. К такому типу относится большая часть приложений, работающих с мультимедийным трафиком (аудио- и видеоприложения). Однако устойчивость к потерям имеет свои пределы, поэтому процент потерянных пакетов не может быть большим (например, не более 1 %). Можно отметить также, что не любой мультимедийный трафик так устойчив к потерям данных; например, компрессированный голос и видеоизображение очень чувствительны к потерям, поэтому относятся к первому типу приложений.

Классы приложений (по характеру передаваемого трафика)

A. Постоянная битовая скорость, устойчивость к задержкам, передача с установлением соединения (голосовой трафик, трафик телевизионного изображения).
B. Переменная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения (компрессированный голос, компрессированное видеоизображение).
C. Переменная битовая скорость, эластичность, передача с установлением соединения (трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают с установлением соединений).
D. Переменная битовая скорость, эластичность, передача без установления соединений (трафик компьютерных сетей, конечные узлы которых работают без установления соединений).
X. Тип трафика и его параметры определяются пользователем.

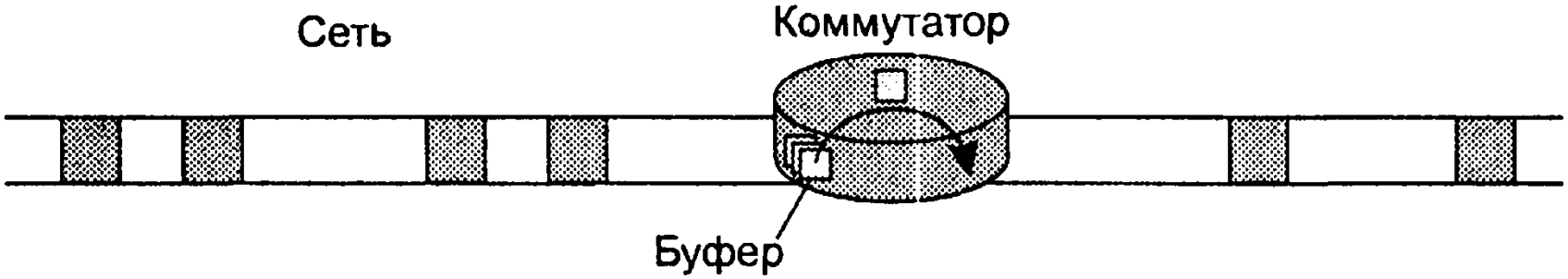
Анализ очередей (1)

- Модель M\M\1 – Марковский (пуассоновский) тип распределения интервалов поступления заявок и значений времени обслуживания. Моделируется одно устройство.
- Элементы:
  - входной поток заявок на обслуживание
  - буфер
  - обслуживающее устройство
  - выходной поток обслуживаемых заявок



Анализ очередей (2)

- Заявки поступают на вход буфера в случайные моменты времени. Если буфер пуст и обслуживающее устройство свободно – заявка сразу же передается в это устройство для обслуживания. Обслуживание длится случайное время.
- Если буфер пуст, но обслуживающее устройство занято обслуживанием ранее поступившей заявки – заявка поступает в буфер. Как только обслуживающее устройство завершает обслуживание предыдущей заявки – она поступает на выход, а прибор выбирает из буфера следующую заявку (если буфер не пуст). Буфер считается бесконечным, т.е. заявки не теряются.
- Если прибывшая заявка застает буфер непустым – она становится в очередь и ожидает обслуживания.
- Теория очередей позволяет оценить для этой модели среднюю длину очереди и среднее время ожидания заявки в очереди в зависимости от характеристик входного потока и времени обслуживания.



Примечание

- Основная идея, лежащая в основе всех методов поддержания характеристик QoS, заключается в следующем: *общая производительность каждого ресурса должна быть разделена между разными классами трафика неравномерно*.
- **Закон сохранения** из теории очередей гласит, что любая дисциплина обслуживания очередей может уменьшить среднюю задержку потока только за счет увеличения средней задержки другого потока.

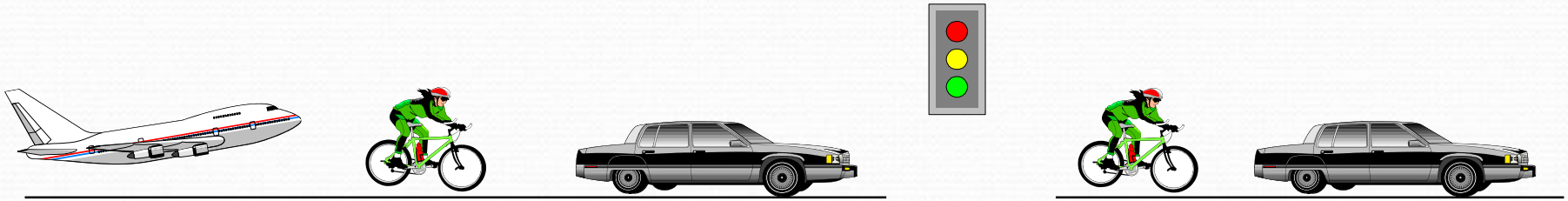
Требования к алгоритму обслуживания очередей

- Наличие средства дифференцирования пакетов;
- Наличие средства определения уровня обслуживания каждого пакета;
- Гарантия качества обслуживания пакетов путем распределения ресурсов для каждого отдельного потока трафика или с помощью определения относительного приоритета потоков;
- Обеспечение защиты и равномерной обработки всех потоков трафика с одинаковым приоритетом.

Механизмы обслуживания очередей

- **FIFO** (First In First Out) – без использования дополнительных возможностей, используется в «best effort».
- **PQ** (Priority Queuing) – приоритетные очереди, вводится приоритет трафика (1-8).
- **CQ** (Custom Queuing) – настраиваемые очереди, используется при резервировании ресурсов.
- **WFQ** (Weighting Fair Queuing) –взвешенное справедливое обслуживание, позволяет динамически управлять ресурсами.

Стратегия FIFO (First In - First Out)



a) First-come, first-served

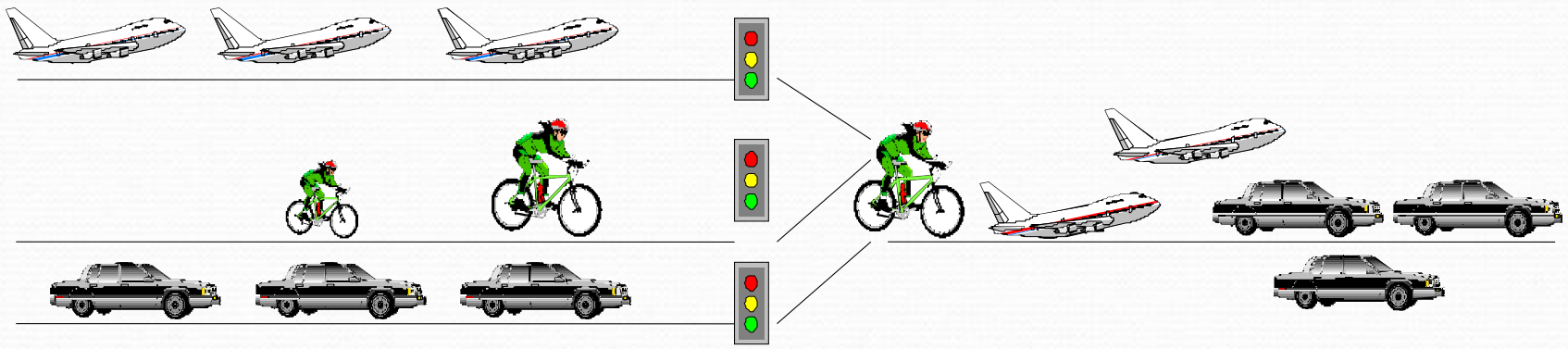
- **<u>Достоинство:</u>** простота реализации и отсутствие потребности в конфигурировании.

- **<u>Недостаток:</u>** невозможность дифференцированной обработки пакетов различных потоков, все пакеты стоят в общей очереди на равных основаниях.

Алгоритмы приоритетного обслуживания

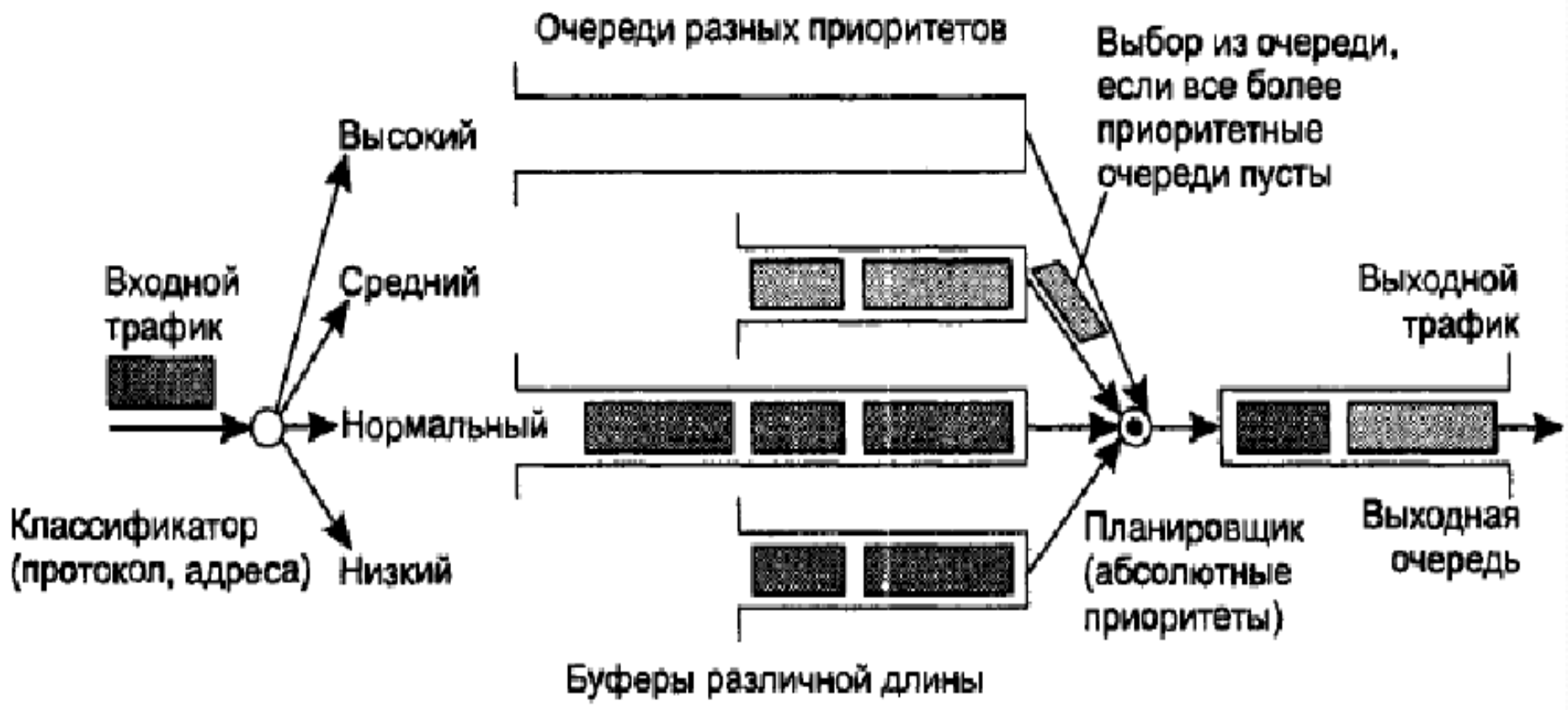
- Применяются для преимущественной по сравнению с другими обработки одного класса трафика.
- Механизм приоритетного обслуживания основан на разделении всего сетевого трафика на небольшое количество классов и назначение каждому классу некоторого числового признака – приоритета.
- Классификация пакетов – это отдельная задача, зависящая от политики администрации сети. Приоритет может назначаться как коммутатором или маршрутизатором, так и приложением на узле-отправителе.
- В сетевом устройстве, поддерживающем приоритетное обслуживание, имеется несколько очередей (буферов), по одной для каждого класса. Пакет, поступивший в период перегрузок, помещается в очередь, соответствующую его классу.
- До тех пор, пока из очереди с более высоким приоритетом, не будут выбраны все пакеты, устройство не переходит к обслуживанию очереди с более низким приоритетом. Пакеты с низшим приоритетом обрабатываются только тогда, когда пусты все вышестоящие очереди.
- Размер буфера определяет максимальную длину очереди. Если пакет поступает при заполненном буфере – он просто отбрасывается.

Priority Queuing, PQ



- Приоритетное обслуживание обеспечивает высокое качество обслуживания пакетов из очереди с самым высоким приоритетом. Уровень задержек высокоприоритетных пакетов минимален. Что же касается остальных классов – качество их обслуживания будет ниже, причем уровень снижения может быть существенным.

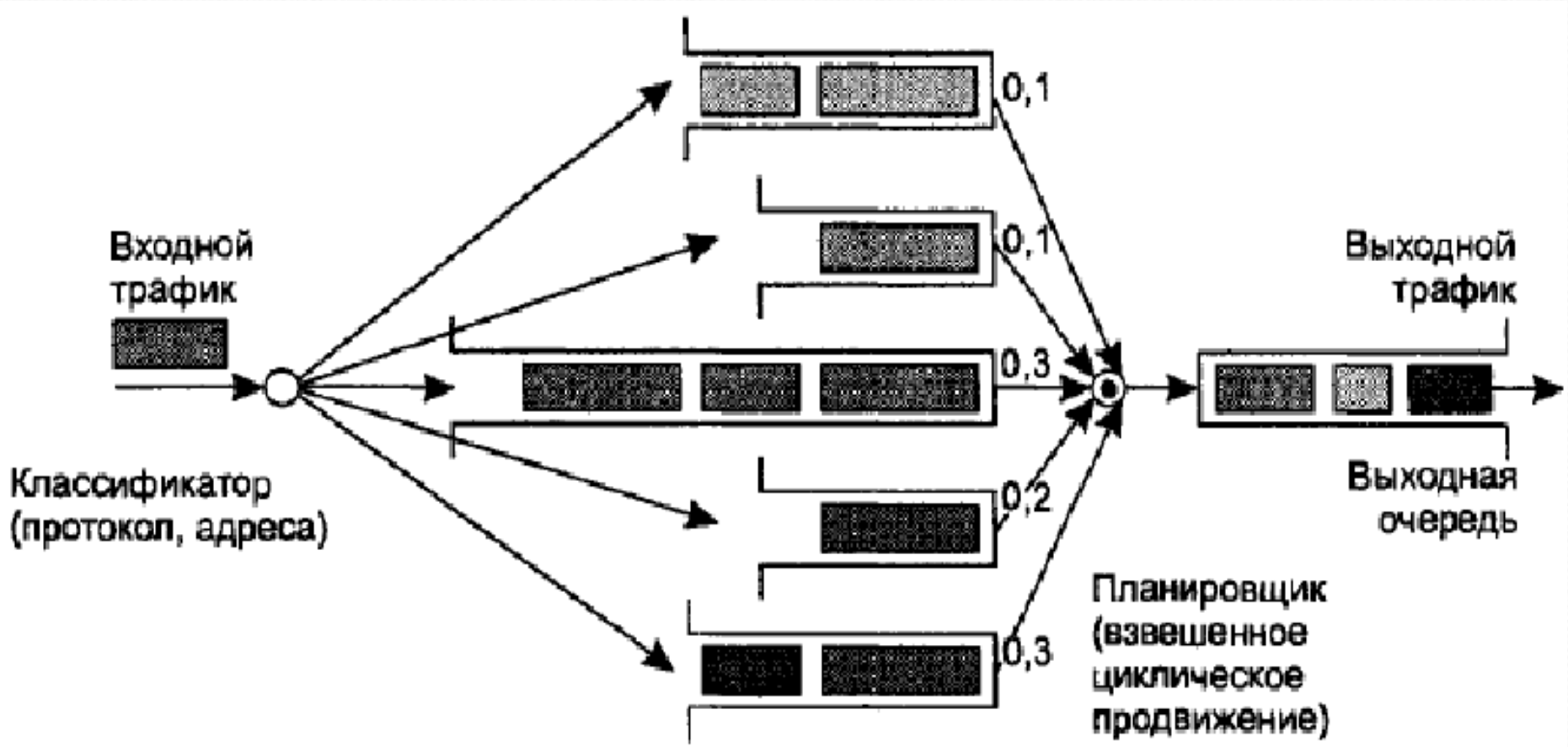
Приоритетные очереди



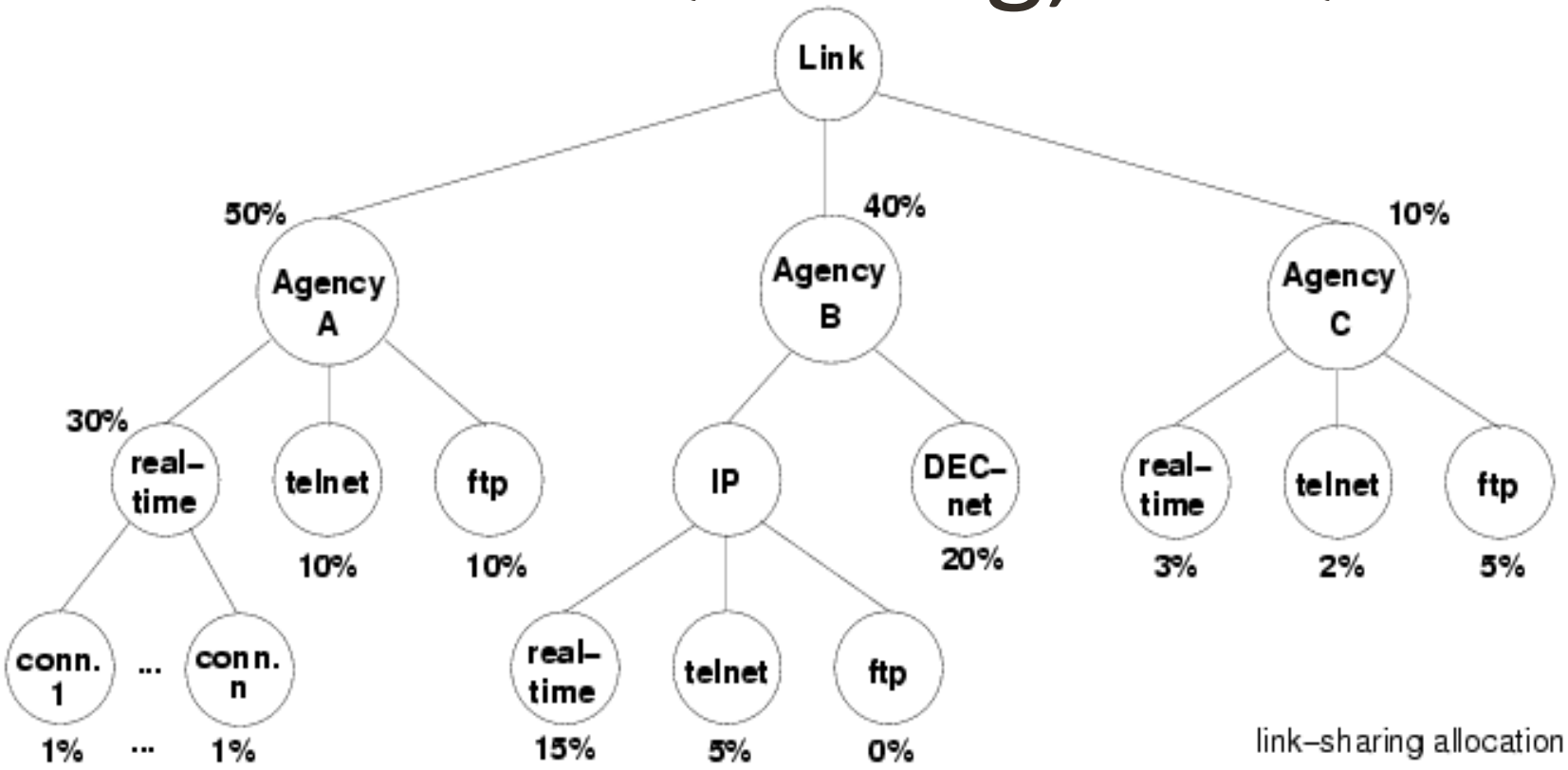
Взвешенные очереди (1)

- Этот алгоритм разработан для того, чтобы предоставить всем классам трафика определенный минимум пропускной способности и\или гарантировать некоторые требования к задержкам. Под весом понимается некоторый процент предоставляемой данному классу пропускной способности от полной выходной пропускной способности выходного интерфейса.
- При взвешенном обслуживании, как и при приоритетном, трафик делится на классы, для каждого класса ведется отдельная очередь пакетов. Но с каждой очередью ассоциируется не приоритет, а процент пропускной способности ресурса, гарантируемый данному классу при перегрузках этого ресурса. Для входного потока ресурсом является процессор, для выходного – выходной интерфейс.
- Недостаток – не учитываются требования к задержкам.

Взвешенные очереди (2)



Class-Based Queuing, CBQ



- Трафик делится на несколько классов, и для каждого класса ведется отдельная очередь пакетов. Но с каждой очередью связывается не ее приоритет, а процент пропускной способности выходного интерфейса.

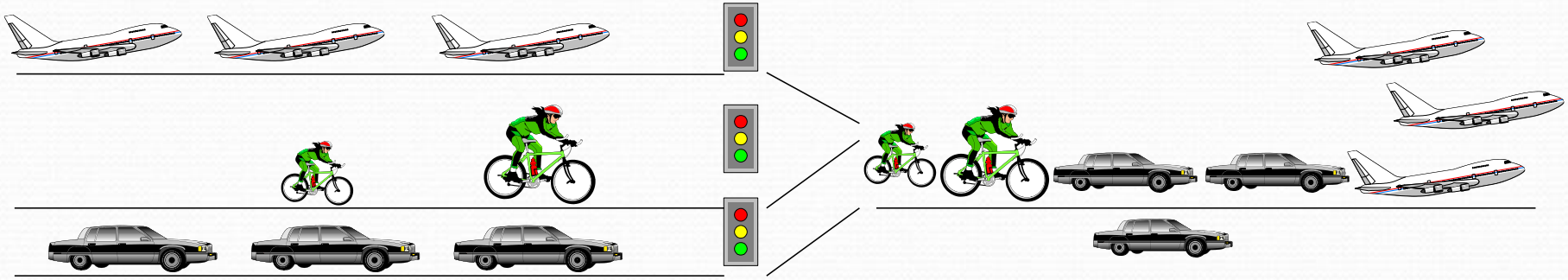
Справедливое обслуживание

- Пропускная способность делится между всеми потоками поровну. Создаются отдельные очереди для каждого потока (или источника, или приложения), ведется циклическое обслуживание по одному пакету из каждой очереди, пустые очереди пропускаются.

Комбинированные алгоритмы обслуживания очередей

- Наиболее популярная комбинация: поддерживается одна приоритетная очередь для чувствительного к задержкам трафика при обслуживании остальных очередей в соответствии со взвешенным алгоритмом. Каждый класс получает определенный процент от пропускной способности, оставшейся от приоритетно трафика. Чтобы приоритетный трафик не поглощал всю пропускную способность, используются дополнительные ограничения.

Weighted Fair Queuing, WFQ



c) Weighted fair queuing

- WFQ делит трафик на несколько потоков, используя в качестве параметров (для IP-протокола): IP-адреса и порты получателя и отправителя, а также поле IP-заголовка ToS. Значение ToS служит для квалификации (части выделяемой полосы) потока. Для каждого из потоков формируется своя очередь.
- Разработан для того, чтобы можно было предоставить всем классам трафика определенный минимум пропускной способности или гарантировать некоторые требования к задержкам.

Модификации WFQ

- WFQ на основе вычисления номера пакета
- WFQ на основе потока
- CBWFQ – WFQ на основе класса
- DWFQ – распределенный WFQ
- DWFQ на основе QoS-группы
- CBWFQ с приоритетной очередью (LLQ, Low Latancy Queuing)
- Заказное обслуживание очередей

Class-Based Weighted Fair Queuing, CBWFQ

- Справедливые очереди базирующиеся на классах. Здесь можно в широких пределах перераспределять полосу пропускания между потоками. Для выделения класса могут привлекаться ACL (Access Control List) или даже номер входного интерфейса. Каждому классу ставится в соответствие очередь.

Low Latency Queuing, LLQ

- В этом алгоритме пакеты всех приоритетов кроме наивысшего вынуждены ждать, пока очередь более высокого приоритета будет опустошена. Разброс задержки в высоко приоритетном потоке может быть связан только с ожиданием завершения передачи пакета низкого приоритета, начавшейся до прихода приоритетного кадра. Такой разброс определяется диапазоном длин кадров (MTU).

Стратегии отбрасывания пакетов при переполнении очереди

- Отбрасывается последний прибывший пакет. Самый простой, но не самый удачный вариант.
- Справедливость: пакеты в равной мере отбрасываются из очередей, соответствующих разным классам.
- Блокирование – пакеты, не попавшие в очередь, сохраняются в специальном буфере, далее они могут отбрасываться после истечения времени.

Задача 1

- К выходному интерфейсу 10 Мбит/с организовано три очереди, которые обслуживаются по алгоритму взвешенных очередей.
- В первой очереди имеется три пакета: пакет 1 размером 1500 байт, пакет 2 размером 625 байт и пакет 3 размером 750 байт.
- Во второй очереди тоже находятся три пакета: пакет 4 размером 500 байт, пакет 5 размером 1500 байт и пакет 6 размером 1500 байт.
- В третьей очереди находятся четыре пакета: пакет 7 размером 100 байт, пакет 8 размером 275 байт, пакет 9 размером 1500 байт и пакет 10 размером 1500 байт.
- В очередях пакеты размещены в порядке возрастания номеров, то есть в первой очереди первым стоит пакет 1, во второй — пакет 4, в третьей — пакет 7.
- В каком порядке появятся на выходе интерфейса 2 Мбит/с пакеты, если цикл работы алгоритма равен 10 мс и очередям отведено 50, 30 и 20 % пропускной способности ресурса соответственно? Алгоритм всегда берет из очереди пакет в каждом цикле (если очередь не пуста), даже если размер пакета таков, что его передача превысит время, отведенное данной очереди.

Задача 2

- Какой из 5 потоков будет меньше в среднем задерживаться в очереди к выходному интерфейсу 100 Мбит/с, если потоки обслуживаются взвешенными очередями, при этом потокам отведено 40, 15, 10, 30 и 5 % пропускной способности интерфейса. Потоки имеют средние скорости: 35, 2, 8, 3 и 4 Мбит/с соответственно. Коэффициент вариации интервалов следования пакетов одинаков у всех потоков.

Рекомендуемое число очередей для разных классов трафика

<table>
<tr><th>Число очередей</th><th colspan="8">Типы трафика</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="8">BE (EE,BK,Vo,CL,VI,NC)</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="4">BE(EE,BK)</td><td colspan="4">VO(CL,VI,NC)</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="4">BE(EE,BK)</td><td colspan="2">CL(VI)</td><td colspan="2">VO(NC)</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">BK</td><td colspan="2">BE(EE)</td><td colspan="2">CL(VI)</td><td colspan="2">VO(NC)</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">BK</td><td colspan="2">BE(EE)</td><td>CL</td><td>VI</td><td colspan="2">VO(NC)</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2">BK</td><td>BE</td><td>EE</td><td>CL</td><td>VI</td><td colspan="2">VO(NC)</td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="2">BK</td><td>BE</td><td>EE</td><td>CL</td><td>VI</td><td>VO</td><td>NC</td></tr>
<tr><td>8</td><td>BK</td><td>-</td><td>BE</td><td>EE</td><td>CL</td><td>VI</td><td>VO</td><td>NC</td></tr>
<tr><td>Приоритет пользователя</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
</table>

BK - Background (фон)

BE - Best Effort (наилучшие усилия)

EE - Excelent Effort (максимальные усилия)

CL - Controlled Load (контролируемая нагрузка)

VI - Video (задержка и разброс доставки <100мсек)

VO - Voice (голос, задержка и разброс доставки <10мсек)

NC - Network Control (управление сетью)