

Capítulo III - QoS em Redes ATM

Prof. José Marcos C. Brito



Introdução

- O ATM é uma tecnologia para rede multiserviço.
- O ATM define classes de serviço que contemplam as aplicações atuais e aplicações futuras.
- O ATM utiliza o conceito de contrato de tráfego entre a aplicação e a rede



A tecnologia ATM permite a implementação de redes multiserviços, uma vez que ela suporta a qualidade de serviço requerida pelos diversos tipos de aplicação (atuais e futuras), através da seleção de uma categoria de serviço apropriada.

Uma aplicação que esteja utilizando uma rede ATM define seus requisitos de largura de faixa e desempenho por meio de um contrato de tráfego. Os parâmetros do contrato de tráfego são passados para a rede via sinalização (para SVC) ou via gerenciamento de rede (para PVC).

Contrato de tráfego

- Um contrato de tráfego entre a aplicação e a rede é estabelecido para cada conexão
- Componentes do contrato de tráfego
 - Categoria de serviço
 - QoS requerida
 - Características do tráfego da conexão
 - Definição de como o tráfego deve se comportar (definição de conformidade)



Nas redes ATM, um contrato de tráfego para cada conexão é estabelecido entre o usuário e a rede, especificando:

- A categoria de serviço
- A QoS requerida
- As características do tráfego da conexão
- A definição de conformidade do tráfego

O contrato de tráfego deve ser estabelecido antes de se iniciar as transmissões. Para PVCs ele pode ser estabelecido por procedimentos de gerência; para SVCs ele deve ser estabelecido antes da conexão, através de sinalização.

Categorias de Serviço

- Constant Bit Rate (CBR)
- Variable Bit Rate (VBR)
 - Real Time e Non-Real Time
- Available Bit Rate (ABR)
- Guaranteed Frame Rate (GFR)
- Unspecified Bit Rate (UBR)



As redes ATM definem cinco categorias de serviço, que estão listadas na transparência.

Constant Bit Rate - CBR

- Aplicações em tempo real.
- Características da conexão
 - Banda dedicada
 - Baixa probabilidade de perda de célula
 - Atraso reduzido e previsível



Aplicações em tempo real são predominantemente constituídas de transmissão de áudio ou vídeo. Estas aplicações são bastante sensíveis ao atraso fim-a-fim na rede e à variação deste atraso. Mesmo que a aplicação gere tráfego em bursts, a largura de faixa de pico é estaticamente alocada pela rede durante toda a conexão.

O serviço CBR é apropriado para suportar aplicações em tempo real. Ele provê conexões com banda dedicada, baixa probabilidade de perda de célula, e atraso pequeno e previsível. O intervalo entre duas células é constante e pode ser caracterizado como o intervalo mínimo entre células, que corresponde a taxa de pico de emissão de células pela fonte (Peak Cell Rate - PCR).

Variable Bit Rate - VBR

- Aplicações:
 - Dados Frame-Relay
 - Áudio/Vídeo sem taxa constante
 - Outras com características de tráfego em burst conhecidas ou previsíveis
- Caracterização do tráfego:
 - Sustained Cell Rate (SCR)
 - Peak Cell Rate (PCR)



A categoria de serviço VBR é adequada para um suporte mais eficiente a aplicações de vídeo, tráfego Frame Relay, ou qualquer outra aplicação que tenha características de tráfego conhecidas ou previsíveis.

O tráfego VBR pode ser caracterizado por uma taxa sustentável de células (Sustained Cell Rate - SCR) e uma taxa de pico de células (Peak Cell Rate - PCR). A SCR é medida sobre um período de tempo conhecido e representa a taxa de transmissão média. A PCR representa o espaçamento mínimo entre células, que representa a largura de faixa de pico requerida.

Geralmente, a alocação de recursos da rede é menor do que a taxa de pico e maior ou igual a taxa média, resultando em ganho estatístico.

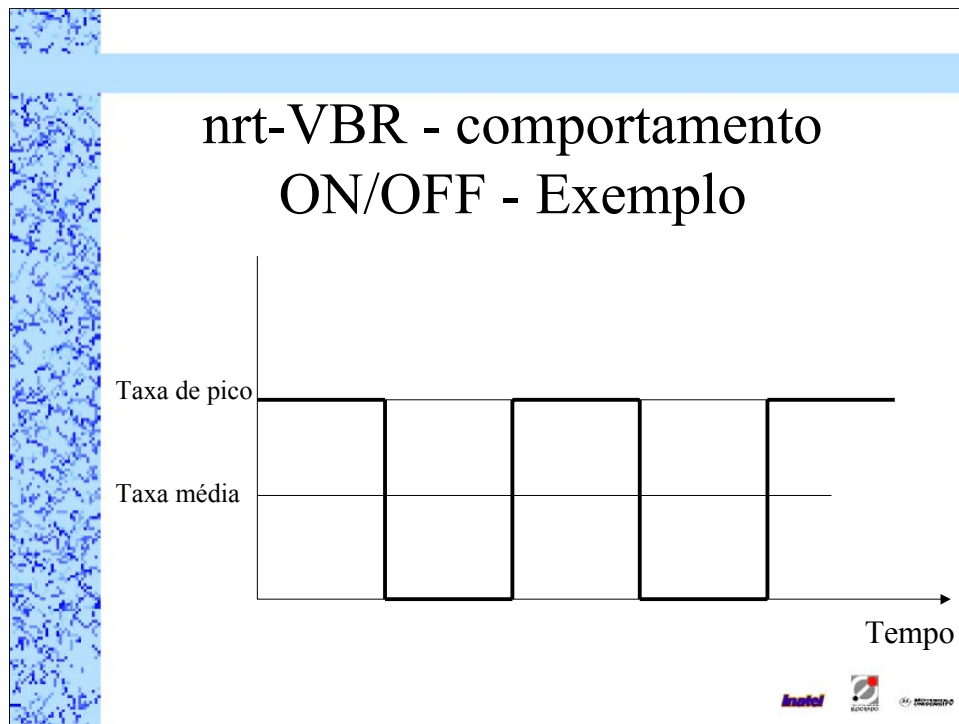
O algoritmo CAC (Connection Admission Control) busca minimizar a quantidade de banda alocada sem ferir os objetivos de QoS contratados.

Variable Bit Rate - VBR

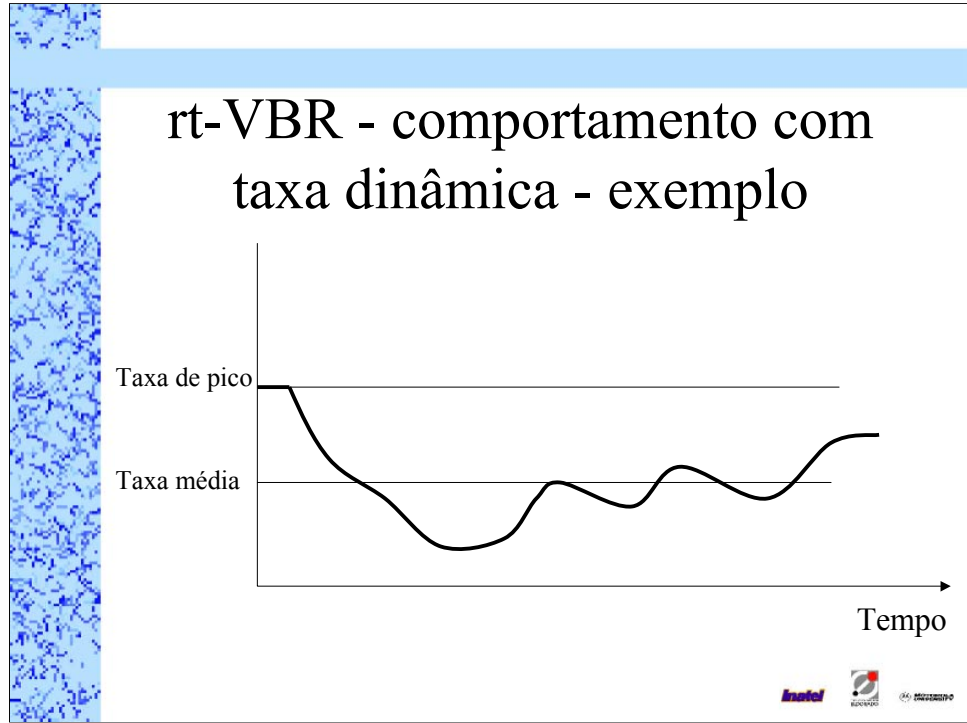
- Ganho estatístico
 - Alocação de recursos menor que a taxa de pico
 - Uso de buffer para manusear picos
- Real-Time VBR
 - Restritivo quanto aos requisitos de atraso
- Non-Real-Time VBR
 - Não garante limite para o atraso



O tráfego VBR é dividido em dois tipos: tráfego em tempo real e tráfego não tempo real. Para o tráfego em tempo real a rede deve garantir limites quanto a atraso, de modo a se manter a QoS.



Uma aplicação de dados utilizando um serviço nrt-VBR pode ser modelada como uma fonte ON/OFF. Durante o período ON, chamado de burst, células são geradas com um intervalo entre células constante baseado na taxa de pico. Nenhuma célula é gerada durante o período OFF. Os requisitos de taxa de pico e taxa média podem portanto ser caracterizados. O período ON pode representar a transmissão de uma PDU da camada superior.



Vídeo é uma aplicação típica para serviço rt-VBR. Ele possui uma taxa de transmissão variável sem a natureza ON/OFF da aplicação de dados. Neste caso, a taxa da fonte flutua dinamicamente sem exceder uma taxa de pico conhecida e uma taxa de emissão média pré-determinada. Neste exemplo, o aumento na taxa de transmissão pode ser causada pelo aumento na ação na cena de vídeo.

Serviços de banda sob demanda

- Características das aplicações (dados):
 - características de tráfego não conhecidas a priori
 - sem requisitos de atraso em tempo real
 - moderadamente sensíveis a perda
- Tipos de serviços de banda sob demanda:
 - Serviço ABR
 - Serviço GFR
 - Serviço UBR



Aplicações de dados que não conhecem à priori as características de tráfego (além da taxa de pico), não possuem requisitos de atraso em tempo-real, e são moderadamente sensíveis a perda, são candidatas a utilizar um dos serviços de banda sob demanda (ABR, GFR e UBR). Protocolos fim-a-fim, tal como o TCP, regulam o fluxo de tráfego baseados na perda de pacotes na rede ATM. Aplicações que façam uso destes protocolos podem se beneficiar dos serviços de banda sob demanda.

Disponível Bit Rate - ABR

- Características:
 - quantidade mínima de banda garantida
 - taxa de emissão de pico limitada
 - ajuste de banda é feito através de um mecanismo de controle de fluxo baseado em taxa (fonte ABR utiliza este mecanismo para minimizar as perdas de células na rede)
 - congestionamento é deslocado da rede para a borda



Para o tráfego ABR, a rede garante apenas uma banda mínima disponível para transmissão. Este tipo de serviço é adequado para aplicações que podem variar sua taxa de transmissão, acompanhando a disponibilidade de recurso da rede. O ajuste da banda utilizada pela aplicação é feito através de um mecanismo de controle de fluxo baseado em taxa.

Guaranteed Frame Rate - GFR

- Características:
 - não requer um protocolo de controle de fluxo
 - banda mínima é garantida, mas não há contrato sob a quantidade de perda quando a fonte excede o mínimo
 - a rede busca descartar PDUs completas ao invés de descartar células aleatoriamente sob congestionamento



No serviço GFR, quando ocorre uma situação de congestionamento, a rede busca descartar PDUs completas, ao invés de descartar células aleatoriamente. Este serviço não requer protocolo de controle de fluxo, e apenas uma banda mínima é garantida.

Unspecified Bit Rate - UBR

- Características:
 - serviço tipo “melhor esforço”
 - conexões compartilham a banda restante sem qualquer mecanismo de realimentação
 - aplicações acessam a banda que a rede puder prover e estão dispostas a tolerar qualquer nível (não especificado) de perda de células
 - QoS pode ser gerenciada, por exemplo, limitando-se o número de conexões que podem compartilhar a banda restante



O serviço UBR corresponde a um serviço do tipo melhor esforço, onde as conexões compartilham a banda restante sem qualquer mecanismo de realimentação, e a rede não garante valores limitados de atraso e perda de células.

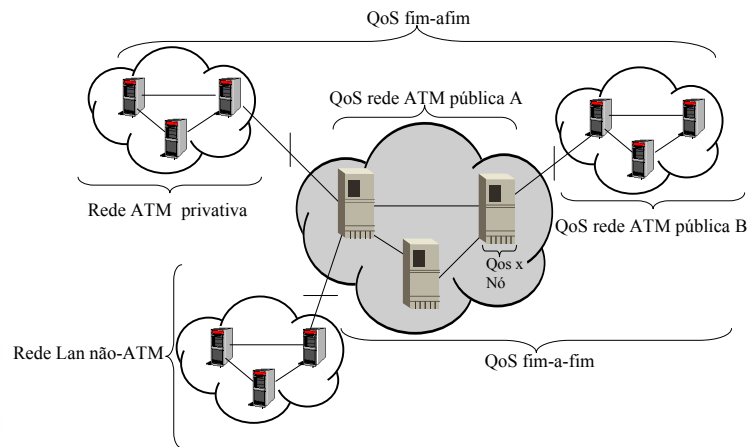
Parâmetros de QoS

- Quantificam os requisitos de performance da rede na camada ATM.
- Os objetivos de QoS são fim-a-fim, isto é, entre os limites da rede ATM (excluindo-se apenas os sistemas terminais).



Os parâmetros de QoS quantificam os requisitos de desempenho da rede. Os objetivos de QoS são fim-a-fim, entre os limites da rede ATM.

Modelo de referência



A figura acima ilustra o modelo de referência para a definição da QoS nas redes ATM.

Parâmetros de QoS

- Negociáveis no contrato de tráfego
 - Cell Loss Ratio (CLR)
 - Maximum Cell Transfer Delay (Max-CTD)
 - Peak-to-peak Cell Delay Variation (P2P-CDV)
- Não negociáveis
 - Cell Error Ratio (CER)
 - Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)
 - Cell Misinsertion Rate (CMR)



Seis parâmetros de QoS são utilizados para medir o desempenho da rede para uma dada conexão. Três deles são negociados entre o sistema final e a rede como parte do contrato de tráfego:

- Cell loss ratio (CLR)
- Maximum cell transfer delay (Max-CTD)
- Peak-to-peak cell delay variation (P2P-CDV)

Os outros três parâmetros não são negociáveis, e são:

- Cell error ratio (CER)
- Severely errored cell block ratio (SECBR)
- Cell misinsertion rate (CMR)

Cell Loss Ratio - CLR

$$\text{CLR} = \frac{\text{Células perdidas}}{\text{Total de células transmitidas}}$$

- Fatores que causam perda de células
 - Estouro dos buffers
 - Falha de componentes e proteção de comutação
 - Erros de transmissão



As células perdidas incluem:

- células que não chegam ao destino
- células que chegam com erro no cabeçalho
- células cujo conteúdo tenha sido corrompido por erro

O total de células transmitidas é o número total de células conformes transmitidas sobre um período de tempo. A CLR não leva em conta células não-conformes com o descritor de tráfego [I.356, Sec.7].

O período de medida não é padronizado mas é geralmente entendido como período que representa a duração da conexão. Para PVCs, o período de medida é definido pelo operador da rede e deve ser suficientemente grande para levar em conta períodos de congestionamento transientes.

A CLR pode ser medida para células com CLP = 0 ou para o agregado de células (CLP = 0 e CLP = 1), dependendo da definição de conformidade aplicável.

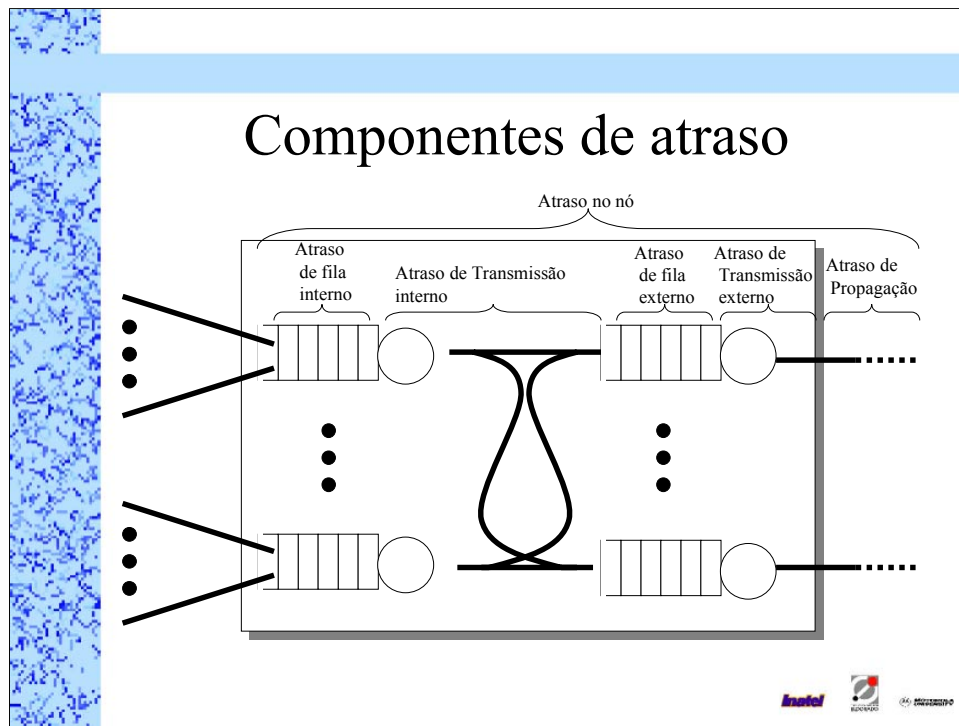
Cell Transfer Delay - CTD

- Tempo transcorrido entre a partida de uma célula do sistema final de origem e a chegada da mesma no destino.
- Componentes do CTD em cada nó:
 - Atraso de transmissão e enfileiramento internos
 - Atraso de transmissão e enfileiramento externos
 - Tempo de propagação
 - Tempo de processamento da célula



O CTD da rede é o somatório do CTD em cada nó da rede ao longo do caminho. Em cada nó o atraso é composto das seguintes partes:

- Atraso de transmissão e enfileiramento internos: tempo gasto para enfileirar e transmitir os bits nos enlaces internos do comutador. A distribuição do tempo de fila varia de acordo com a carga e com o algoritmo de scheduling utilizado. A arquitetura do comutador pode requerer zero ou vários estágios de enfileiramento internos, possivelmente com taxas diferentes nos diversos enlaces.
- Atraso de transmissão e enfileiramento externos: tempo gasto para enfileirar e transmitir os bits na interface externa (enlace de saída). A distribuição deste tempo varia com a carga e com o algoritmo de scheduling utilizado.
- Tempo de propagação: tempo necessário para os bits se propagarem no meio físico. A velocidade de propagação depende do meio utilizado.
- Atraso de processamento: representa o atraso necessário para processar a célula (por exemplo, analisar o cabeçalho).



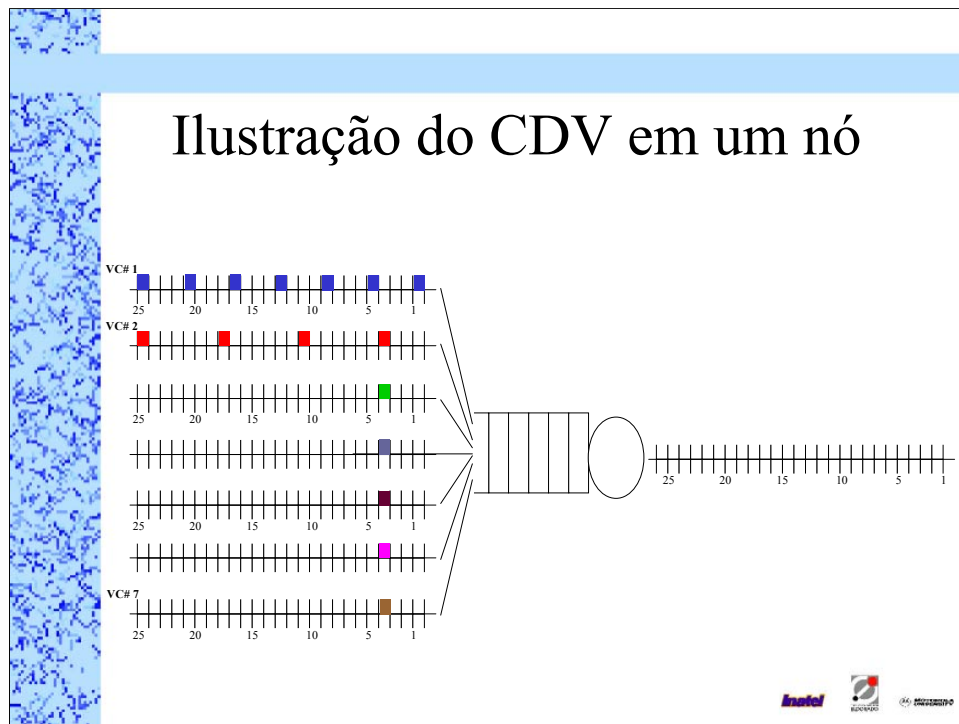
A figura acima ilustra os componentes do atraso de transferência de célula na rede ATM.

Cell Transfer Delay - CTD

- Valor mínimo é composto pelos elementos não variáveis do CTD.
- Variação do atraso (CDV): surge devido à natureza estatística do ATM
- Valor máximo é associado ao tamanho máximo do buffer e à taxa de serviço da fila



O atraso de transferência de célula (CTD - Cell Transfer Delay) varia entre um valor mínimo, composto por atrasos fixos na rede, e um valor máximo, que está associado ao tamanho máximo dos buffers ao longo da conexão e à taxa de ocupação destes buffers.

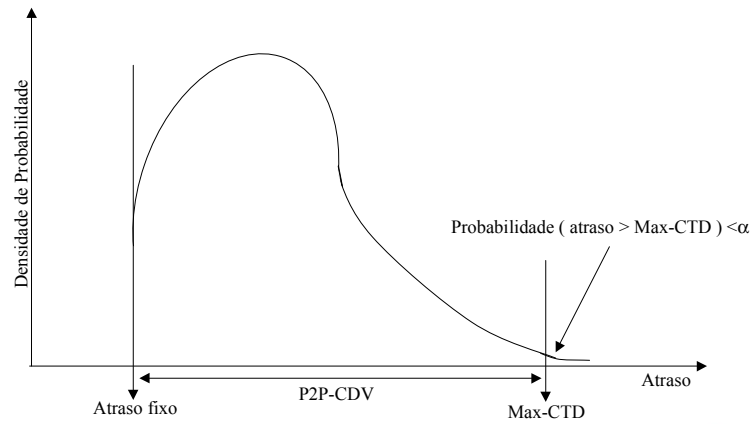


Por causa da natureza estatística do ATM, o atraso de enfileiramento varia de uma célula para outra, criando uma variação no atraso da célula. Esta variação é denominada de Cell Delay Variation (CDV). Por causa do CDV um conjunto de células espaçadas uniformemente na entrada de um nó podem ser transmitidas em forma de burst ou com atrasos irregulares.

O CDV é um fenômeno que ocorre em todo ponto de enfileiramento, em parte como uma função do tamanho do buffer, mas principalmente como uma função da estratégia de scheduling utilizada.

Na figura acima o VC1 é multiplexado com 6 outros VCs com diferentes valores de PCR. Os enlaces de entrada e saída possuem a mesma velocidade. As primeiras células do VC2 ao VC7 chegam ao nó ao mesmo tempo, causando fila. As células são transmitidas segundo o critério FIFO, causando uma alteração no espaçamento das células provenientes do VC1.

Função densidade de probabilidade do CTD



A figura acima ilustra a função densidade de probabilidade do atraso de transferência de célula.

CTD - Parâmetros de QoS

- Maximum Cell Transfer Delay (Max-CTD)
 - Células que ultrapassam este atraso são consideradas perdidas ou inúteis.
 - A probabilidade de uma célula ultrapassar o Max-CTD não pode exceder o CLR
- Peak-to-peak Cell Delay Variation (P2P-CDV)
 - Representa a diferença entre o máximo e o mínimo CTD



Os parâmetros de QoS associados ao atraso de transferência de célula são:

- Maximum Cell Transfer Delay (Max-CTD)
- Peak-to-peak Cell Delay Variation (P2P-CDV)

As células que tiverem um atraso maior do que o Max-CTD são consideradas perdidas ou inúteis. A probabilidade do atraso de uma célula ultrapassar o Max-CTD não deve exceder o CLR.

O P2P-CDV representa a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo do atraso de transferência de célula.

Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)

$$\text{SECBR} = \frac{\text{Blocos de células severamente errados}}{\text{Total de bloco de células transmitidos}}$$

- Um bloco de células é uma sequência de N células transmitidas consecutivamente em uma conexão
- Um bloco severamente errado ocorre quando mais de M células erradas, perdidas, ou inseridas indevidamente são observadas no bloco recebido



Para objetivos práticos de medida, um bloco de células normalmente corresponde ao número de células de informação do usuário transmitidas entre células de OAM sucessivas [I.610].

As células perdidas e transmitidas incluídas no bloco de células severamente errado são excluídas do cálculo do CLR.

Cell Misinsertion Rate - CMR

$$\text{CMR} = \frac{\text{Células inseridas indevidamente}}{\text{Intervalo de tempo}}$$

- Uma célula inserida indevidamente é aquela enviada a uma conexão à qual não pertence.
- A principal razão para inserção indevida de células é a ocorrência de erros não detectáveis e não corrigíveis no cabeçalho.



A taxa de células inseridas indevidamente é principalmente definida pela ocorrência de erros no cabeçalho da célula que não podem ser corrigidos e não podem ser detectados, que por sua vez é influenciado pela taxa de erros de transmissão. A probabilidade de um erro não-detectável (e não corrigível) no cabeçalho da célula resultar no mapeamento em um VPI/VCI válido também depende do número de VPI/VCI que estão sendo utilizados.

Os blocos de células severamente errados são excluídos da população utilizada para calcular o CMR.

Cell Error Ratio - CER

$$\text{CER} = \frac{\text{Células erradas}}{\text{Células transferidas com sucesso} + \text{células erradas}}$$

- Uma célula errada é aquela que tem o seu conteúdo (header ou payload) modificado e que não pode ser recuperado por técnicas de correção de erro.
- A CER é influenciada pelo tipo de meio e pelas características de erro do mesmo.



A Cell Error Ratio (CER) é definida como a razão entre o número de células erradas e o número total de células (células transferidas com sucesso + células erradas). A CER é influenciada pelo tipo de meio e pelas características de erro do mesmo.

Parâmetros descritores de tráfego

- Utilizados para caracterizar o tráfego (um conjunto para cada direção).
- A alocação de recursos é feita com base no comportamento do tráfego, descrito pelos parâmetros.
- O conjunto de parâmetros que descrevem o tráfego de uma conexão depende da categoria de serviço associada à conexão



Os parâmetros descritores de tráfego são utilizados para caracteriza o tráfego em uma direção. O conjunto de parâmetros utilizado para descrever o tráfego de uma conexão depende da categoria de serviço associada à conexão.

A alocação de recursos na rede é feita com base no comportamento do tráfego, que é descrito através dos parâmetros descritores.

Parâmetros descritores de tráfego

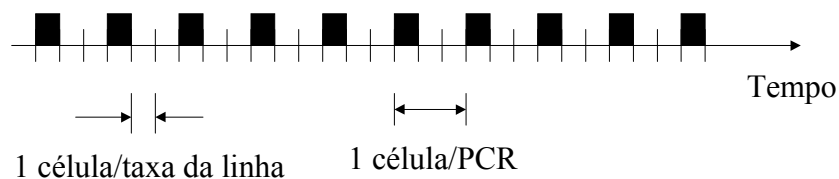
- Descritores de tráfego da fonte
 - Peak Cell Rate (PCR)
 - Sustainable Cell Rate (SCR)
 - Maximum Burst Size (MBS)
 - Minimum Cell Rate (MCR)
 - Maximum Frame Size (MFS)
- Descritores de tráfego da conexão
 - Descritores da fonte + Cell Delay Variation Tolerance (CDVT)



Os parâmetros descritores do tráfego são divididos em descritores de tráfego da fonte e descritores de tráfego da conexão. A transparência resume os parâmetros utilizados nas redes ATM.

Peak Cell Rate - PCR

- Representa a taxa de emissão de pico da fonte.
- O inverso de PCR representa o intervalo mínimo teórico entre células de uma conexão.
- É expresso em células por segundo.



O valor de PCR pode ser limitado pela taxa de transmissão da linha (velocidade física), pela fonte, ou por um mecanismo de formatação ou conformação (shaping) do tráfego de ingresso.

A Figura acima representa uma conexão onde o valor de PCR é $1/3$ do valor da taxa de transmissão física.

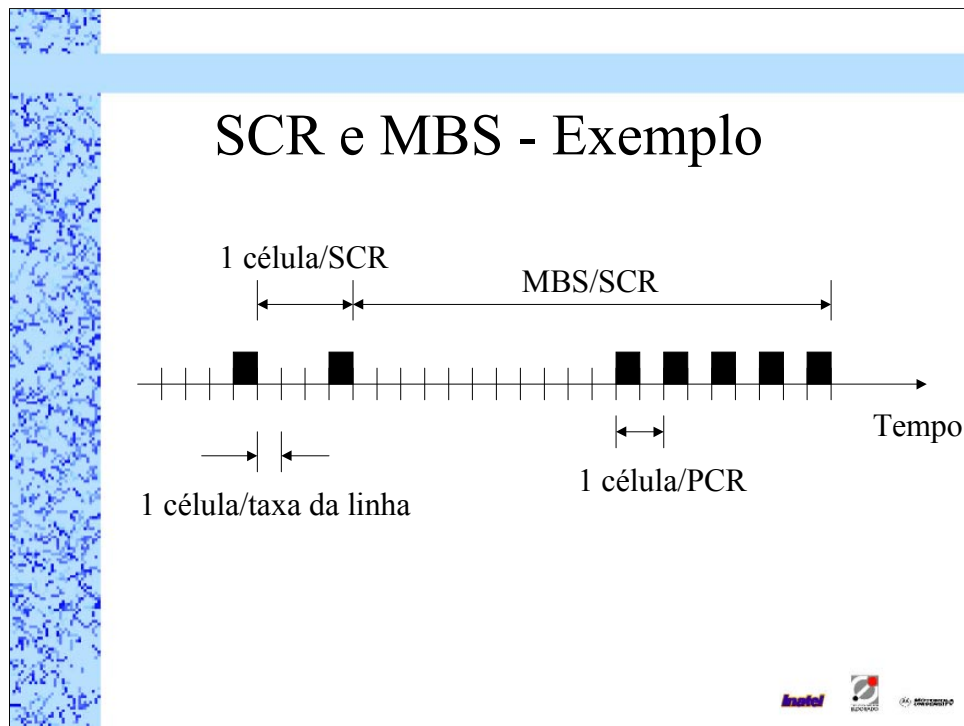
Exceto para ABR, o PCR é sempre definido para o fluxo agregado de células ($CLP = 0$ e $CLP = 1$). Uma conexão não pode exceder o PCR através do envio de células de baixa prioridade ($CLP = 1$). No caso do ABR, o PCR é definido somente sobre o fluxo de células com $CLP = 0$.

Sustainable Bit Rate - SCR Maximum Burst Size - MBS

- O SCR representa um limite superior na taxa de transmissão média de células conformes de uma conexão ATM.
- Junto com o SCR é especificado o MBS
 - O MBS representa o fator de burst do tráfego.
 - O MBS especifica o tamanho do burst de células que podem ser transmitidas à taxa PCR sem ferir o SCR negociado

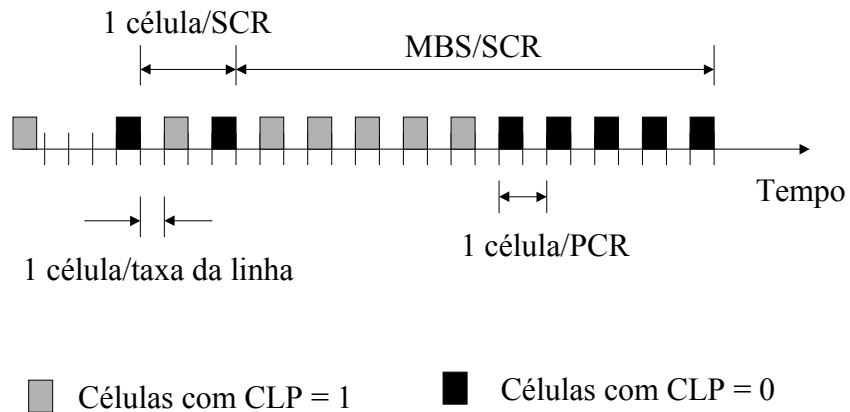


O parâmetro SCR representa o limite superior para a taxa de transmissão média de células em uma conexão ATM. O parâmetro MBS representa o tamanho do burst de células que podem ser transmitidas à taxa PCR sem que o parâmetro SCR seja ultrapassado.



A figura mostra uma conexão que possui um PCR contratado cujo valor é metade da taxa da linha, e um SCR cujo valor é 1/4 da taxa da linha com um MBS de cinco células. A conexão pode enviar cinco células em dez janelas de tempo, mas precisa ficar outras dez janelas de tempo em silêncio para não ultrapassar a taxa média de emissão de células de 1/4 da taxa da linha. Alternativamente, a conexão pode enviar uma célula a cada quatro janelas de tempo.

SCR e MBS - exemplo



O SCR pode ser definido para o fluxo de células agregado (CLP = 0 e CLP = 1) ou somente para o fluxo com CLP = 0. Quando a definição é feita para o fluxo agregado, a conexão não pode exceder o SCR enviando células de baixa prioridade (CLP = 1). Quando o SCR é definido para o fluxo CLP = 0, a conexão pode exceder o SCR enviando células com CLP = 1, até o valor de PCR, como ilustra a figura acima.

Minimum Cell Rate - MCR

- Define a largura de faixa mínima alocada para a conexão.
- É utilizado pelos serviços de banda sob demanda (ABR e GFR)



O MCR é classificado como um descritor de tráfego, embora ele represente a largura de faixa mínima alocada para a conexão. Ele não descreve literalmente o comportamento do tráfego, uma vez que a fonte pode emitir células a uma taxa superior a MCR. Ele é utilizado para serviços de banda sob demanda (ABR e GFR) para garantir que a conexão tenha um mínimo de banda para suas transmissões.

Maximum Frame Size - MFS

- Define o tamanho máximo de uma PDU-AAL que pode ser enviada por uma conexão GFR.
- PDUs que excedam este tamanho não são elegíveis para receber os objetivos de QoS GFR.



O parâmetro MFS (Maximum Frame Size) define o tamanho máximo de uma PDU-AAL para uma conexão GFR. PDUs cujo tamanho exceda o MFS não são elegíveis para receber os objetivos de QoS da conexão GFR.

Descritores de tráfego e QoS

Atributos	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	GFR	UBR
PCR	Especif.	Especif.	Especif.	Especif.	Especif.	Especif.
SCR MBS	N/A	Especif.	Especif.	N/A	N/A	N/A
MCR	N/A	N/A	N/A	Opcional	N/A	N/A
MCR, MBS,MFS	N/A	N/A	N/A	N/A	Especif.	N/A
CLR	Contrat.	Contrat.	Contrat.	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo
Max- CTD	Contrat.	Contrat.	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo
P2P- CDV	Contrat.	Contrat.	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo	Sem alvo



Parâmetro Especificado: aquele que é comunicado para a rede no estabelecimento da conexão.

Parâmetro Não Aplicável (N/A): aquele que não faz parte do contrato de tráfego para aquela categoria de serviço.

Parâmetro Opcional: aquele que pode ser incluído como parte do contrato de tráfego, valores default podem ser utilizados se o parâmetro não é incluído.

Parâmetro de QoS Contratado: significa que o objetivo de QoS é comunicado à rede no estabelecimento da conexão, e que a rede concorda em atingir o objetivo se a conexão foi estabelecida.

Parâmetro de QoS sem alvo: indica que a rede não considera este parâmetro na decisão de aceitar ou não a conexão; a rede não garante nada quanto este parâmetro e somente se compromete a entregar a célula tão rápido quanto possível (CTD e CDV) ou se possível (CLR).

Classes de Serviço

- Para uma dada categoria de serviço (CBR, VBR, ABR,..), a rede pode oferecer uma ou mais classes de serviço.
- Uma classe de serviço oferece um conjunto de alvos de QoS e pode limitar a faixa de alguns dos descritores de tráfego, por ex.:
 - Serviço CBR Premium : $CLR = 10E-10$
 - Serviço CBR Normal: $CLR = 10E-7$



Uma classe de serviço estabelece um conjunto de objetivos de QoS. Uma dada categoria de serviço pode oferecer uma ou mais classes de serviço. Por exemplo, uma rede pode oferecer um serviço VBR premium, com $CLR = 10E-10$, e um serviço CBR normal, com $CLR = 10E-7$.

Conformação e policiamento de tráfego

- A rede deve garantir que as conexões se comportem de acordo com os parâmetros de contrato de tráfego. Para tal são utilizados mecanismos de
 - Conformação de tráfego
 - Policiamento de tráfego



O algoritmo de Controle de Admissão de Conexão (CAC) aloca recursos suficientes para que a conexão atenda os níveis de QoS estabelecidos. Contudo, o uso do CAC não é suficiente para garantir a QoS de uma conexão. Isto ocorre porque a conexão pode (intencionalmente ou acidentalmente) exceder os parâmetros de tráfego contratados, podendo resultar em degradação da QoS associada à conexão em questão e também à QoS de outras conexões.

Para garantir que o tráfego na conexão estará de acordo com o contratado a rede utiliza mecanismos de conformação e policiamento de tráfego. A função de conformação é utilizada para tornar o tráfego conforme com o contratado, enquanto a função de policiamento é utilizada para verificar se o tráfego está em conformidade com o contratado.

É pouco provável que uma aplicação se comporte naturalmente de acordo com os descritores de tráfego. A função de conformação pode ser utilizada na interface ATM (embora isto não seja mandatório) para garantir que o tráfego entregue à rede ATM irá se comportar de acordo com o contratado.

A rede utiliza a função de policiamento para verificar se as células que estão sendo recebidas estão em conformidade com o contrato de tráfego. A rede poderá atuar sobre células consideradas não-conformes, de modo a evitar a degradação da QoS das conexões. Esta monitoração é usualmente feita no ponto de entrada da rede e no limite entre redes.

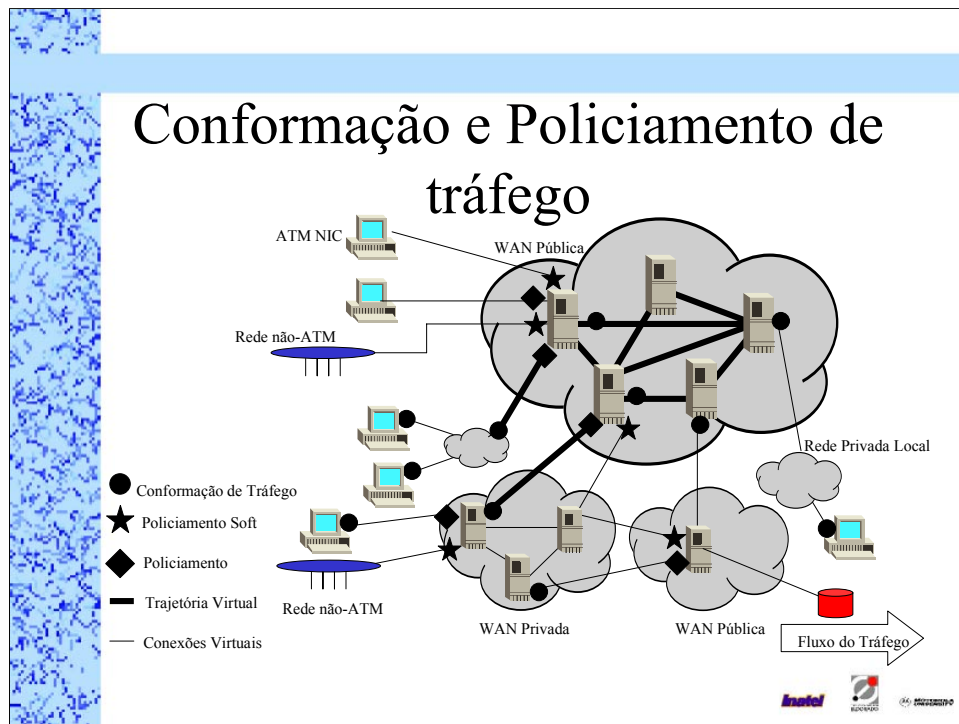
Generic Cell Rate Algorithm - GCRA

- Utilizado para verificar se as células de uma conexão estão em conformidade com o contrato de tráfego.
- As células não-conformes podem ser:
 - Descartadas
 - Marcadas com CLP = 1 e transmitidas
 - Processadas (atrasadas) para ficar em conformidade com o contratado (Soft Policing).



O GCRA é um algoritmo utilizado pela rede para verificar se as células de uma conexão estão em conformidade com o contrato de tráfego entre o usuário e a rede.

As células consideradas não-conformes podem ser descartadas, marcadas com CLP = 1, ou reconfirmadas.



Na função de policiamento, as células que chegam à rede e são qualificadas como não-conformes podem ser descartadas ou serem marcadas com $CLP = 1$. A marcação tem o objetivo de diminuir o nível de prioridade da célula, permitindo que a mesma seja transmitida pela rede, mas tornando-a elegível para descarte em caso de congestionamento.

Alternativamente, a rede pode implementar uma função de conformação, onde as células não-conformes são atrasadas (em buffers) para se tornarem conformes. Esta abordagem é denominada de Soft Policing.

Definição de conformidade

- Incluída como parte do contrato de tráfego.
- Determina os tipos de células (CLP = 0 ou CLP = 0+1) para as quais os descritores de tráfego e QoS são definidos e qual a ação da rede sobre as células não-conformes.



A definição de conformidade determina os tipos de células (CLP = 0 ou CLP = 0+1) para os quais os descritores de tráfego e QoS são definidos e qual a ação da rede sobre o tráfego considerado não-conforme. Como as células com CLP = 1 tem mais baixa prioridade e não são geralmente elegíveis para QoS garantida, nenhuma definição de conformidade se aplica a elas, a menos que elas estejam incluídas como parte do fluxo agregado.

Quando a garantia de QoS se aplica ao tráfego agregado (CLP = 0 + 1), as células com CLP = 0 e CLP = 1 são tratadas igualmente, e a definição de conformidade é dita CLP transparente.

A definição de conformidade também indica o que a rede deve fazer com as células não-conformes. As possíveis ações são descartar as células, marcá-las com CLP = 1, ou mesmo não fazer nada (deixar as células entrarem na rede como se estivessem conforme). Se as células entram na rede como células conformes, elas são elegíveis para QoS.

Definição de conformidade

Nome	Categoria de serviço	Fluxo PCR	Fluxo SCR	Fluxo MCR	Células não-conformes	CLR	Max-CTD P2P-CDV
CBR.1	CBR	0+1	N/A	N/A	Descartadas	0+1	0+1
VBR.1	rt e nrt-VBR	0+1	0+1	N/A	Descartadas	0+1	0+1(rt)
VBR.2	rt e nrt-VBR	0+1	0	N/A	Descartadas	0	0(rt)
VBR.3	rt e nrt-VBR	0+1	0	N/A	Marcadas	0	0(rt)
ABR.1	ABR	0	N/A	0	Descartadas	0	N/A
GFR.1	GFR	0+1	N/A	0	Descartadas	0	N/A
GFR.2	GFR	0+1	N/A	0	Marcadas	0	N/A
UBR.1	UBR	0+1	N/A	N/A	Descartadas	N/A	N/A
UBR.2	UBR	0+1	N/A	N/A	Marcadas	N/A	N/A



Para o serviço CBR existe uma única definição de conformidade que trata todas as células ($CLP = 0$ e $CLP = 1$) igualmente. Esta definição de conformidade é denominada de CLP transparente.

A definição de conformidade VBR.1 é completamente CLP transparente, enquanto as definições VBR.2 e VBR.3 permitem que o usuário exceda o SCR até o limite do PCR.

Para a categoria ABR existe uma única definição de conformidade. Contudo, como não existem células com $CLP = 1$ especificadas no protocolo de controle de fluxo, o PCR e MCR são definidos somente para o fluxo com $CLP = 0$

Para o serviço GFR, a conformidade aplica-se somente para o tráfego agregado PCR. O MCR é utilizado para avaliar a elegibilidade para QoS mas não define conformidade.

Para o serviço UBR todo o tráfego abaixo de PCR está conforme. Contudo, não há garantia de QoS, mesmo para o tráfego conforme.

Policciamento de tráfego

- Generic Cell Rate Algorithm (GCRA)
 - Monitoração do parâmetro PCR ou dos parâmetros SCR e PCR
 - Pode ser expresso como um algoritmo Leaky Bucket ou como um algoritmo Virtual-Scheduling [I.371 e TM4.0]
 - Ambos os algoritmos resultam no mesmo conjunto de células não conformes.



O GCRA pode monitorar os parâmetros SCR e PCR, ou apenas o parâmetro PCR. Este algoritmo pode ser expresso como um algoritmo Leaky Bucket ou como um algoritmo Virtual-Scheduling.

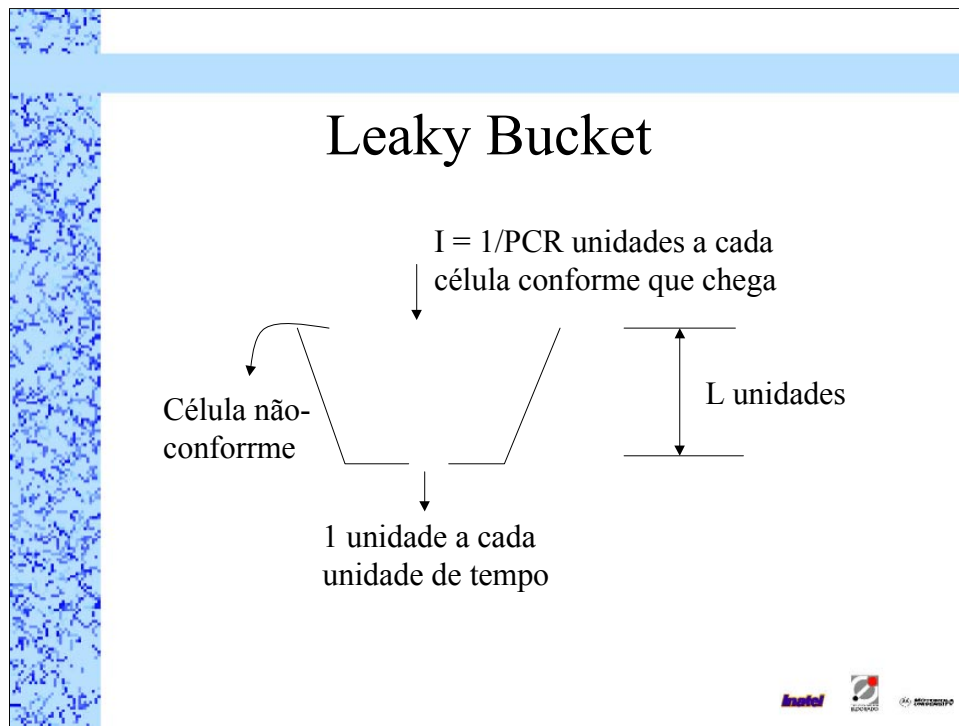
GCRA - monitoração de PCR

- Aplica-se aos tráfegos CBR e UBR.
- Monitora apenas o parâmetro PCR
- Um fator de tolerância, devido ao jitter, é especificado: Cell Delay Variation Tolerance (CDVT)
- Define-se um incremento $I = 1/PCR$ e um limite $L = CDVT$.



No caso do serviço CBR a definição de conformidade aplica-se à taxa de pico de células (PCR) do tráfego agregado ($CLP = 0$ e $CLP = 1$). Um algoritmo que verifica-se a conformidade de uma única fonte CBR poderia ser muito simples: se a célula chega antes de $1/PCR$ (tendo como referência a célula anterior) a taxa de chegada de células excede o contratado e a célula é declarada não conforme.

Contudo, se múltiplas conexões são multiplexadas em um enlace, o padrão de tráfego original pode ser alterado devido a jitter, e o algoritmo simples do parágrafo anterior não pode ser aplicado. Para levar em conta o jitter, um fator de tolerância, denominado Cell Delay Variation Tolerance (CDVT), é introduzido. Este fator é expresso em unidades de tempo (usualmente microsegundos) e, em geral, assume um valor maior que o Max-CDV.



O algoritmo Leaky Bucket é baseado na seguinte analogia: Um balde (B) se enche com I unidades a cada vez que uma célula conforme chega e é esvaziado continuamente 1 unidade a cada unidade de tempo. O balde tem capacidade finita L . Se uma célula chega e o balde não transborda, a célula é dita conforme, se o balde transborda a célula é dita não-conforme. O balde só transborda se a taxa de chegada de células é maior que a taxa de drenagem, ou seja, se a taxa de chegada de células ultrapassa PCR.

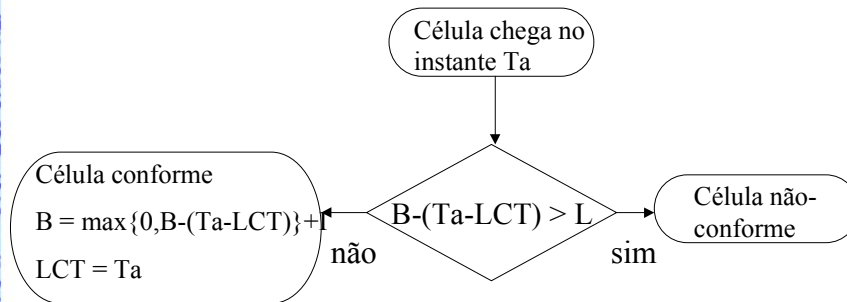
Leaky Bucket

- LCT (Last Conformance Time): instante de chegada da última célula conforme
- T_a : instante de chegada de uma célula
- Chegada da primeira célula no instante T_a
 - $B = 0$
 - $LCT = T_a$
- Para as demais células aplica-se o algoritmo da próxima transparência.



No algoritmo Leaky Bucket, na chegada da primeira célula, faz-se $B = 0$ e $LCT = T_a$. Para as células subsequentes aplica-se o algoritmo indicado no fluxograma da próxima transparência.

Leaky Bucket



O fluxograma acima resume a operação do algoritmo Leaky Bucket. A cada célula o teste de conformidade indicado é aplicado.

Virtual Scheduling

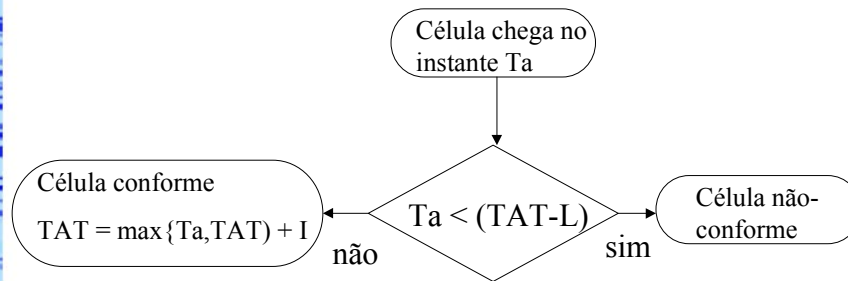
- TAT (Theoretical Arrival Time): Instante esperado de chegada de uma célula conforme
- T_a : Instante real de chegada da célula
 - Se $T_a > TAT - L$ a célula é conforme
- Primeira célula: $TAT = T_a$
- Células subsequentes: vide próxima transp.



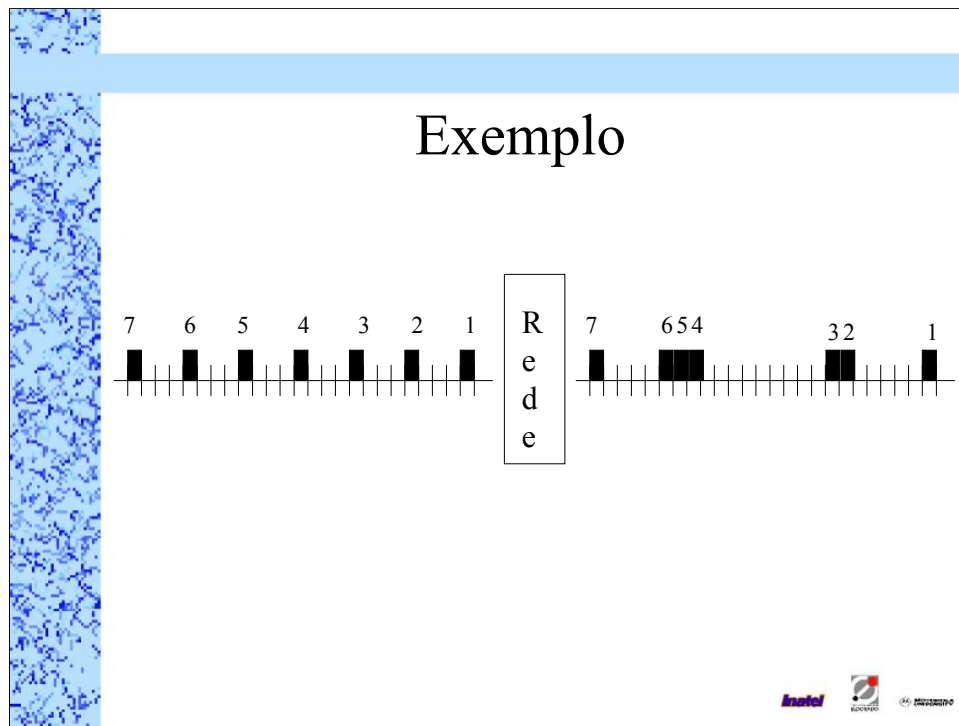
O algoritmo Virtual Scheduling define um instante real de chegada de célula (T_a) e um instante esperado para a chegada de uma célula (TAT). Se uma célula chega antes de TAT menos uma tolerância, expressa pelo parâmetro L , a célula é dita não-conforme; caso contrário, a célula é dita conforme.

Para a primeira célula faz-se $TAT = T_a$, para as células subsequentes o algoritmo aplicado está resumido no fluxograma da transparência seguinte.

Virtual Scheduling



O fluxograma acima resume a operação do algoritmo Virtual Scheduling. Cada célula que chega é testada para verificar sua conformidade.






A figura ilustra um fluxo de células conforme, com uma taxa PCR igual a $1/4$ da taxa da linha. A rede ATM introduz jitter de atraso no fluxo, de modo que na saída da rede as células não estão mais igualmente espaçadas.

Nas próximas transparências mostraremos a aplicação dos algoritmos Leaky Bucket e Virtual Scheduling para testar a conformidade do fluxo de células da saída da rede ATM da figura acima.

Exemplo

CDVT = 2 unidades de tempo

Célula	ta	TAT	TAT-ta	B	LCT	B-(ta-LCT)	Conformidade
1	1	1	0	0	1	0	Sim
2	8	5	-3	4	1	-3	Sim
3	9	12	3	4	8	3	Não
4	19	12	-7	4	8	-7	Sim
5	20	23	3	4	19	3	Não
6	21	23	2	4	19	2	Sim

A tabela acima mostra a evolução dos algoritmos para o fluxo de células mostrado anteriormente, considerando CDVT = 2 unidades de tempo. As células 3 e 5 são consideradas não conforme.

Perceba que o fluxo de células analisado é resultado de um fluxo de células conforme que sofreu jitter da rede. Para que o fluxo se torne conforme, o parâmetro CDVT deve ser aumentado.

Exemplo

CDVT = 3 unidades de tempo

Célula	ta	TAT	TAT-ta	B	LCT	B-(ta-LCT)	Conformidade
1	1	1	0	0	1	0	Sim
2	8	5	-3	4	1	-3	Sim
3	9	12	3	4	8	3	Sim
4	19	16	-3	7	9	-3	Sim
5	20	23	3	4	19	3	Sim
6	21	27	6	7	20	6	Não



A tabela acima apresenta os resultados da aplicação dos algoritmos Leaky Bucket e Virtual Scheduling, considerando-se agora $CDVT = 3$ unidades de tempo. Neste caso, apenas a célula 6 é considerada não-conforme.

Para que todas as células fossem consideradas conforme, o parâmetro CDVT deveria ser fixado em 6 unidades de tempo.

GCRA - monitoração de SCR e PCR

- Aplica-se ao tráfego VBR.
- Monitora os parâmetros SCR e PCR
- Um fator de tolerância é definido: Burst Tolerance (BT)
 - $BT = (MBS - 1) \times (1/SCR - 1/PCR)$
- Para o SCR: $I = 1/SCR$; $L = BT + CDVT$
- 1a célula: $B_p = B_s = 0$ e $LCT = T_a$

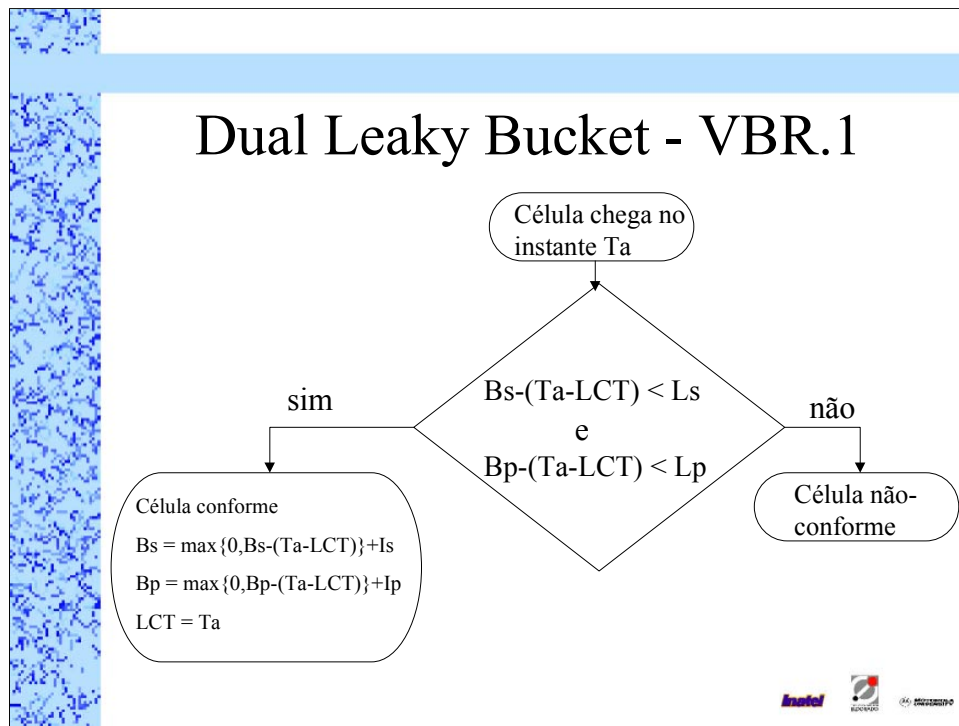


Para o serviço VBR a conformidade é definida com base nos parâmetros SCR e PCR. A conformidade do PCR é sempre definida no agregado de células. Dependendo do tipo de definição de conformidade, o SCR pode ser definido no fluxo agregado (VBR.1) ou no fluxo com $CLP = 0$ (VBR.2 e VBR.3).

No caso do SCR, um parâmetro de tolerância BT (Burst Tolerance) é definido como: $BT = (MBS - 1) \times (1/SCR - 1/PCR)$

O GCRA para o SCR é o mesmo utilizado para o PCR, com o incremento I igual a $1/SCR$ e o limite $L = BT + CDVT$

No caso da definição de conformidade VBR.1, uma célula é considerada conforme se ela satisfizer os testes de PCR e SCR. Para as definições de conformidade VBR.2 e VBR.3, somente células com $CLP = 0$, que forem conformes com o parâmetro PCR, precisam também estar conformes com o parâmetro SCR para serem consideradas células conformes. Qualquer célula com $CLP = 1$ que estiver conforme com o parâmetro PCR é considerada uma célula conforme, independente da conformidade com o parâmetro SCR.

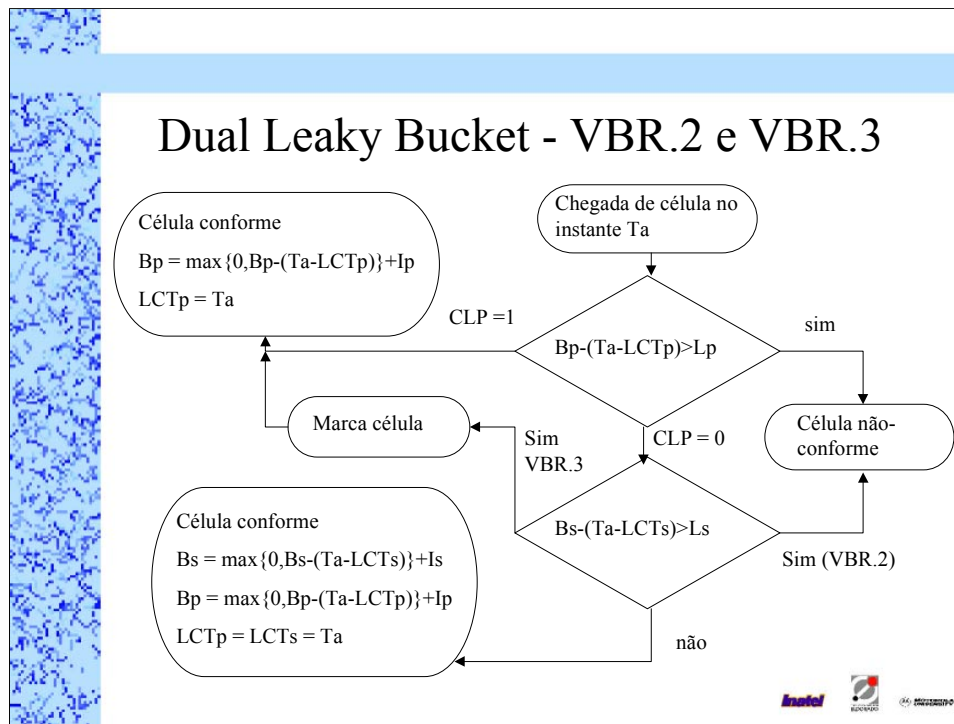


Os algoritmos de verificação de conformidade com base no PCR e SCR passam a ser chamados de Dual Leaky Bucket e Dual Virtual Scheduling.

A figura acima resume a operação do algoritmo Leaky Bucket para a definição de conformidade VBR.1. Este algoritmo comporta-se como um Leaky Bucket simples, com incremento e limite definidos separadamente para os parâmetros PCR e SCR, e denotados por I_p (incremento) e L_p (limite) para o PCR e I_s e L_s para o SCR.

Temos: $I_p = 1/\text{PCR}$; $I_s = 1/\text{SCR}$; $L_p = \text{CDVT}$; $L_s = \text{BT} + \text{CDVT}$.

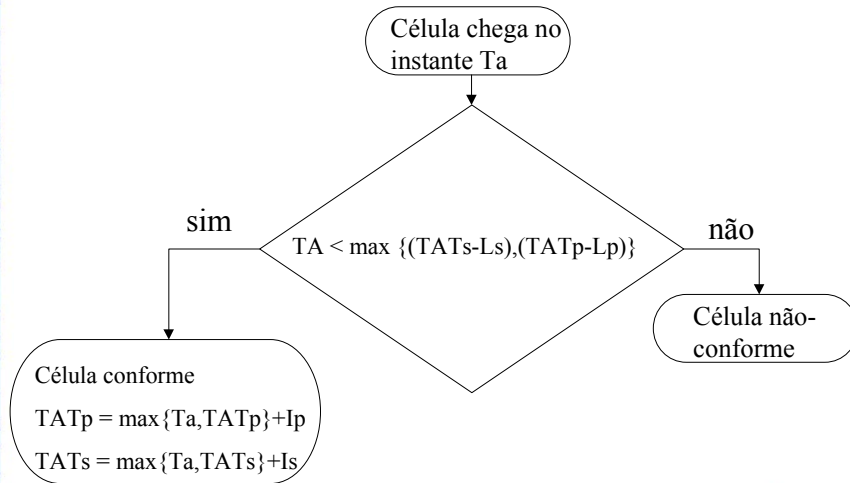
B_p e B_s são o tamanho dos baldes para o PCR e SCR. Na chegada da primeira célula, no instante T_a , temos $B_s = B_p = 0$, $LCT = T_a$. Uma vez que a definição de conformidade é CLP transparente, apenas um parâmetro LCT precisa ser definido.



O fluxograma acima resume a operação do algoritmo Dual Leaky Bucket para as definições de conformidade VBR.2 e VBR.3. Novamente, o algoritmo se comporta como um Leaky Bucket simples. Neste caso, dois parâmetros LCT, LCT_p e LCT_s, são necessários para manter o acompanhamento da ocorrência da última conformidade para o PCR e o SCR, respectivamente.

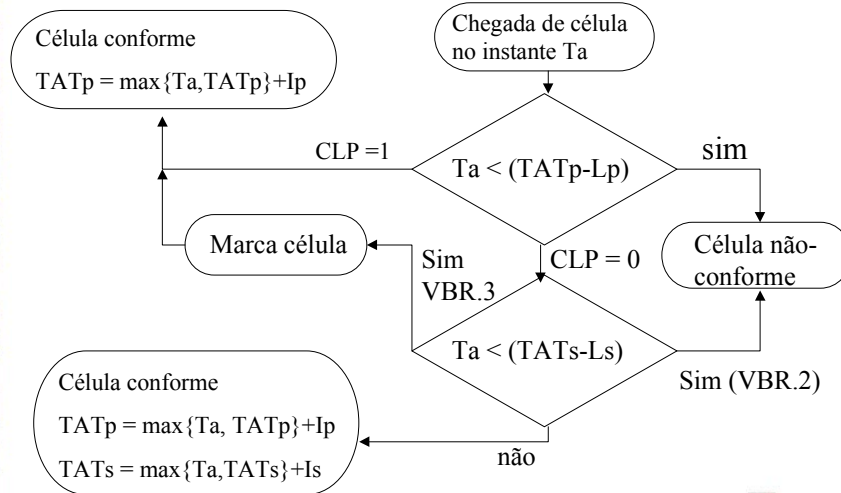
Na chegada da primeira célula, no instante T_a , faz-se $B_s = B_p = 0$ e $LCT_p = T_a$. Na chegada da primeira célula com $CLP = 0$, no instante T_{ao} , faz-se $LCT_s = T_{ao}$.

Dual Virtual Scheduling - VBR.1



O fluxograma apresentado acima e o da próxima transparência resumem a operação do algoritmo Dual Virtual Scheduling para as definições de conformidade VBR.1, VBR.2 e VBR.3. Dois parâmetros TAT, TATp e TATs, são necessários para monitorar o PCR e o SCR, respectivamente.

Dual Virtual Scheduling - VBR.2 e VBR.3



Exemplo

- Contrato de tráfego
 - PCR = 1/2 da taxa da linha e SCR = 1/4 da taxa da linha
 - MBS = 4 células e CDVT = 1 unidade de tempo
- Parâmetros
 - BT = 6 unidades de tempo
 - Is = 4; Ip = 2
 - Ls = 7; Lp = 1



Vamos agora fazer um exemplo de aplicação dos algoritmos Dual Leaky Bucket e Dual Virtual Scheduling para o teste de conformidade. O contrato de tráfego está resumido na transparência acima, bem como os parâmetros de inicialização dos algoritmos.

Exemplo 1 - VBR.1 e VBR.2

Célula	Ta	TATs	TATp	Bs	Bp	LCT	$TATs - Ta = Bs - (Ta - LCT)$	$TATp - Ta = Bp - (Ta - LCT)$	Conforme
1	1	1	1	0	0	1	0	0	Sim
2	2	5	3	4	2	1	3	1	Sim
3	3	9	5	7	3	2	6	2	Não
4	4	9	5	7	3	2	5	1	Sim
5	5	13	7	9	3	4	8	2	Não
6	6	13	7	9	3	4	7	1	Sim
7	7	17	9	11	3	6	10	2	Não
8	8	17	9	11	3	6	9	1	Não
9	9	17	9	11	3	6	8	0	Não
10	10	17	9	11	3	6	7	-1	Sim



Neste exemplo a fonte envia células continuamente à taxa da linha. Todas as células possuem $CLP = 0$. O resultado dos testes de conformidade para a definição VBR.1 está mostrada na tabela acima. O mesmo resultado será obtido se o teste for feito para a definição VBR.2, uma vez que todas as células possuem $CLP = 0$.

Exemplo 2 - VBR.3

Célula CLP	Ta	TATs	TATp	B s	Bp	LCTs	LCTp	TATs-Ta= Bs - (Ta - LCT)	TATp-Ta= Bp - (Ta - LCT)	Conf CLP
1/0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	Sim/0
2/0	2	5	3	4	2	1	1	3	1	Sim/0
3/0	3	9	5	7	3	2	2	6	2	Não/0
4/0	4	9	5	7	3	2	2	5	1	Sim/1
5/1	5		7		3		4		2	Não/1
6/0	6	9	7	7	3	2	4	3	1	Sim/0
7/1	7		9		3		6	5	2	Não/1
8/0	8	13	9	7	3	6	6	5	1	Sim/1
9/1	9		11		3		8	0	2	Não/1
10/0	10	13	11	7	3	6	8	3	2	Sim/0



Neste exemplo a fonte envia quatro células com $CLP = 0$ e depois envia, alternadamente, células com $CLP = 1$ e $CLP = 0$. As células são enviadas à taxa da linha.

Tem-se $SCR = 1/3$ da taxa da linha, $Ls = 4$, $Lp = 1$ e $Ip = 2$.

Os resultados da aplicação de ambos os algoritmos para a definição VBR.3 são mostrados na tabela acima.

Controle de Admissão de Conexão - CAC

- Conjunto de regras ou procedimentos que determinam a admissibilidade de uma conexão em um comutador ATM.
- Com base nos descritores de tráfego e modelos de tráfego e de fila, o CAC verifica se há recursos suficientes para aceitar a conexão com os níveis de QoS desejados.



Para verificar a admissibilidade de uma conexão, o CAC segue os seguintes procedimentos gerais, em cada ponto de enfileiramento, antes de estabelecer a conexão:

- 1) Mapea os descritores de tráfego associados com a conexão em um modelo de tráfego. Uma vez que cada categoria de serviço tem descritores de tráfego específicos, diferentes modelos de tráfego são necessários.
- 2) Usa este modelo de tráfego com um modelo de fila apropriado para estimar se existem recursos suficientes para admitir a conexão com os objetivos de QoS especificados.
- 3) Aloca os recursos à conexão, se eles são suficientes.

Um procedimento de CAC eficiente produz máximo ganho estatístico sem violar a QoS. A eficiência do CAC depende de quanto os modelos de tráfego e fila são capazes de capturar a realidade.

Os algoritmos de CAC não podem fazer uso intenso de processo computacional, pois isto poderia resultar em atrasos inaceitáveis para o estabelecimento da conexão.

CAC

- Algoritmo mais adequado depende da arquitetura do comutador, tipo de fila, algoritmo de scheduling, etc.
- Os algoritmos não são padronizados pelo ITU-T ou ATM-Fórum.
- Não é necessário ter o mesmo algoritmo de CAC em todos os comutadores para se alcançar o nível de QoS desejado.



O algoritmo CAC não é padronizado pelo ITU-T ou ATM-Fórum. O algoritmo mais adequado depende da arquitetura do comutador, do tipo de fila, do algoritmo de scheduling, etc.

Ganho estatístico

$$\text{Ganho estatístico} = \frac{\text{No de conexões admitidas com multiplexagem estatística}}{\text{No de conexões admitidas com alocação pela taxa de pico}}$$

- É uma função que varia com o tamanho do buffer, características do tráfego e objetivos de QoS das conexões que estão sendo multiplexadas.



A máxima taxa de dados possível para uma conexão é a taxa de pico de células (PCR). Assim, ignorando o jitter (CDV), o CAC não necessita alocar mais que a PCR para cada conexão. Contudo, uma vez que as conexões não enviam dados continuamente, é possível alocar menos recursos quando muitas conexões são multiplexadas em um ponto de fila. A capacidade de alocar mais conexões do que seria possível se a alocação fosse feita pela taxa de pico é denominada de ganho estatístico.

CAC para tráfego CBR

- Alocação pela taxa de pico
- Método com CDV negligenciável
- Método com CDV não-negligenciável



Existem três métodos para a função de CAC para tráfego CBR: alocação pela taxa de pico, método com CDV negligenciável e método com CDV não-negligenciável.

Alocação pela taxa de pico

$$\sum_i \text{PCR}_i \leq \textit{capacidade do enlace}$$

- A presença de jitter e a chegada simultânea de células nos fluxos multiplexados pode resultar em perda de célula, tipicamente se o buffer é pequeno.



Uma técnica simples para alocação de recursos para tráfego CBR é alocar a taxa PCR para cada conexão. A conexão é aceita se o somatório dos PCR de todas as conexões não ultrapassar a capacidade do enlace. Este algoritmo é denominado de alocação pela taxa de pico.

O processo de enfileiramento das células nos comutadores pode resultar em jitter, fazendo com que as células de um mesmo fluxo se dispersem ou se agrupem. Se isto ocorrer, as células não mais possuem uma taxa constante, podendo o processo de agrupamento resultar, transitoriamente, em uma taxa de pico superior a PCR.

Outro fenômeno possível é a chegada simultânea de células de fluxos distintos que serão multiplexados em um mesmo enlace.

Por causa destes fenômenos, a alocação pela taxa de pico não garante, a priori, que a taxa de perda de células esteja abaixo do limite aceitável.

Outras técnicas que levam em conta o CDV podem ser utilizadas. Estas técnicas se dividem em método com CDV negligenciável e método com CDV não-negligenciável.

Métodos com CDV negligenciável

$$\sum_i PCR_i \leq \rho \times \text{capacidade do enlace}$$

- Dados um buffer de comprimento B, a capacidade do enlace C, e taxa de pico de célula da conexão PCR, o método determina uma carga ρ tal que a probabilidade do comprimento da fila exceder B seja menor que ϵ , onde ϵ é um número pequeno (como 10E-10). A conexão será admitida se a condição acima for satisfeita.



Probabilidade da fila exceder um dado valor

Modelo M/D/1

$$P(\text{comp. do buffer} > x) \cong -\frac{1-\rho}{\ln(\rho)} \cdot \exp[-x(1-\rho-\ln(\rho))]$$

Modelo nD/D/1

$$P(\text{comp. do buffer} > x) \cong -\frac{1-\rho}{\ln(\rho)} \cdot \exp[-x(\frac{2x}{n} + 1 - \rho - \ln(\rho))]$$



O modelo M/D/1 admite chegada Poissoniana, tempo de serviço determinístico, e servidor único. O modelo nD/D/1 assume que n fluxos de células CBR periódicos idênticos estão sendo multiplexados. O modelo M/D/1 é mais conservador e resulta na admissão de menos conexões. Para grandes valores de n os modelos se aproximam, uma vez que o sistema passa a ter um padrão de chegada de células próximo do Poissoniano.

Ambos os modelos citados consideram um sistema de fontes homogêneas; ou seja, todas as fontes possuem o mesmo PCR. Na realidade, as fontes podem ter PCRs distintos, e modelos mais complexos precisam ser utilizados.

Métodos com CDV não negligenciável

$$\sum_i PCR_i \leq \textit{capacidade do enlace}$$

$$\sum BS_i \leq B \equiv \textit{tamanho do buffer da fila}$$

$$BS = 1 + \left\lfloor \frac{CDVT}{T - \delta} \right\rfloor \quad T = 1 / PCR \quad \delta = 1 / R$$



Os métodos com CDV negligenciável geralmente modelam a multiplexagem de tráfego CBR puro, sem jitter. Contudo, o CDV pode não ser negligenciável quando o fluxo CBR é multiplexado com outros tipos de fluxo, como tráfego rt-VBR. Neste caso, pode haver o agrupamento de células, e o CAC deve levar em conta a ocorrência dos possíveis bursts.

As conexões ATM são policiadas na entrada da rede pelo algoritmo GCRA, que garante que o comprimento máximo do burst é $BS = 1 + \lfloor CDVT / (T - \delta) \rfloor$, onde $T = 1 / PCR$ e $\delta = 1 / R$, onde R é a taxa da linha. Portanto, para levar em conta o CDV, pode-se estabelecer um limitante em relação ao tamanho do buffer: o somatório dos BS de cada conexão deve ser menor ou igual ao tamanho do buffer da fila. Esta abordagem pode ser muito pessimista, pois assume que não haverá perda de célula mesmo que ocorra a chegada simultânea de bursts em todos os fluxos que utilizam o mesmo buffer (multiplexagem sem perda).

CAC para tráfego VBR

- Rate Envelope Multiplexing (REM)
 - Assume que não existe buffer ou que ele é muito pequeno
- Rate Sharing (RS)
 - Assume que o buffer é muito grande (infinito)
- Banda Efetiva
 - Assume a existência de buffer finito
 - Método mais importante



No caso de um buffer muito pequeno (ou inexistente), a técnica Rate Envelope Multiplexing (REM) pode ser utilizada. Nesta técnica uma conexão é aceita se a taxa de chegada agregada de pacotes (incluindo-se todas as conexões) for menor que a capacidade do enlace (com alta probabilidade).

Se o buffer é muito grande (infinito), todos os bursts podem ser absorvidos, e basta alocar a taxa SCR para cada conexão. Ou seja, a conexão é aceita se o somatório de todos os SCRs for menor ou igual a capacidade do enlace.

Na prática, o buffer é finito e a capacidade do canal deve ser maior ou igual ao somatório de um parâmetro α associado a cada conexão, cujo valor está entre SCR e PCR. Esta técnica é denominada de banda efetiva, banda equivalente, ou banda virtual.

Banda efetiva

- Os parâmetros de tráfego de cada conexão são mapeados para um número c , chamado de banda efetiva da conexão, onde $SCR \leq c \leq PCR$.
- A conexão é aceita se:

$$\sum_i c_i \leq \textit{capacidade do enlace}$$



O modelo de banda efetiva mapea os parâmetros de tráfego de cada conexão em um número c , chamado de banda efetiva da conexão, tal que os requisitos de QoS da conexão sejam satisfeitos. Assim, a banda efetiva é definida pelas propriedades da fonte. A conexão é aceita se o somatório das bandas efetivas for menor ou igual à capacidade do enlace.

O valor da banda efetiva de uma conexão depende das propriedades estatísticas da conexão e das propriedades da fila, e está entre SCR e PCR. Em geral, para uma dada conexão, é intuitivo admitir que a banda efetiva está próxima de PCR para buffers muito pequenos e próxima de SCR para buffers muito grandes.

Propriedade aditiva da banda efetiva: a banda efetiva total necessária para N conexões é igual a soma das bandas efetivas para cada conexão.

Propriedade de independência: a banda efetiva de uma conexão é função apenas dos parâmetros da conexão.

As propriedades aditiva e de independência facilitam a implementação do CAC. No entanto, esta abordagem pode resultar em subutilização dos recursos. Ou seja, métodos que levassem em conta as características das diversas conexões poderiam resultar em maior ganho estatístico e na alocação de maior número de conexões para uma mesma banda.

Banda efetiva - modelo de perdas (Kesidis)

$$c = \alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta} \quad \alpha = \frac{1}{2} \left(\lambda - \frac{1}{\delta T_{on}} - \frac{1}{\delta T_{off}} \right)$$

$$\exp(-b\delta) = CLR \quad \lambda = PCR \quad \beta = \frac{\lambda}{\delta T_{off}}$$

$$T_{on} = \frac{1}{3} \frac{MBS}{PCR} \quad T_{off} = \frac{1}{3} MBS \left(\frac{1}{SCR} - \frac{1}{PCR} \right)$$



As expressões acima permitem calcular a banda efetiva de uma conexão com base no modelo de perdas proposto por Kesidis. Este modelo pressupõe a especificação da perda de células (CLR). O parâmetro b do modelo é a profundidade do buffer; os demais parâmetros já foram definidos ou são parâmetros auxiliares definidos pelas próprias expressões.

Banda efetiva - modelo de atraso

$$c = \max \left\{ SCR, \frac{MBS}{PCR^{-1}MBS + \Delta} \right\}$$

$$\Delta = \min \{ MaxCTD - t_{fixo}; P2PCDV \}$$

t_{fixo} é o atraso fixo de propagação do enlace



As expressões acima permitem calcular a banda efetiva segundo o modelo de atraso. Neste caso, os parâmetros especificados são o atraso máximo (MaxCTD) e a variação máxima do atraso (P2PCDV).