

5 Ferramenta de Ajuste Elástico

Baseado nas considerações expostas no capítulo anterior, um sistema de ajuste elástico para fluxos de vídeo foi desenvolvido, podendo ter, como entrada, um fluxo MPEG de Sistemas ou de Vídeo. De forma a possibilitar o ajuste elástico em um fluxo contendo áudio e vídeo correlacionados, é proposta uma interface de integração para o ajuste do fluxo de áudio. Sua utilização em aplicações de exibição de documentos hipermídia, como ferramenta para provimento de funções de ajuste elástico em objetos de áudio e vídeo, requer sua integração a um formatador hipermídia. Com essa finalidade, são considerados ajustes de cerca de 10% em relação à duração do fluxo original, visando resultar em pequeno impacto na percepção do usuário (Golubchik et al., 1995), e é proposta a integração do sistema de ajuste ao formatador Hyperprop (Bachelet et al, 2004).

O adaptador atua diretamente no fluxo comprimido, implementa o ajuste elástico no fluxo de vídeo e propõe um algoritmo para o controle do ajuste elástico nos fluxos elementares de áudio e vídeo correlacionados, evitando que os processos de ajuste em cada tipo de mídia resulte em perda de sincronia entre a apresentação dos sinais de áudio e vídeo, também denominada de *lip synchronization*. Também são propostos algoritmos de controle da ocupação do *buffer* de decodificação e de recuperação da referência de relógio. Todas as modificações introduzidas devem ser realizadas em tempo de exibição a fim de permitir sua utilização em ambientes de execução hipermídia.

5.1. Adaptador de ajuste elástico

O sistema de ajuste elástico recebe um fluxo MPEG-1/2, de Sistemas ou de Vídeo, e um *fator de ajuste* como entrada, realiza as operações de ajuste e produz um novo fluxo MPEG-1/2 como saída. O fator de ajuste indica a relação

percentual solicitada de acréscimo ou decréscimo do tempo de exibição do fluxo de saída em relação ao de entrada.

Os principais requisitos considerados no desenvolvimento do sistema são a precisão do ajuste elástico, em relação ao fator de ajuste solicitado, a adaptabilidade do sistema, permitindo que o fator de ajuste possa ser alterado dinamicamente, e a realização das operações em tempo real, a fim de permitir sua utilização em formatadores hipermídia. O caráter de tempo real adicionado ao grande volume de dados presente em fluxos de vídeo demanda, em geral, um alto poder de processamento. Para ser utilizado em ambientes de execução diversos, o sistema não pode conter algoritmos complexos, o que levou à escolha de uma implementação *multithreading*. Apesar do requisito de alto desempenho, o sistema foi desenvolvido usando a linguagem Java para facilitar seu reuso em diferentes ambientes de execução.

A estrutura do sistema de ajuste elástico mostrada na Figura 3 é reapresentada na Figura 30 para facilitar sua visualização e é adequada para o ajuste nos fluxos de mídia individuais de forma independente, através dos módulos *Ajuste em Vídeo* e *Ajuste em Áudio*. Essa alternativa é implementada através da criação de um controlador de ajuste elástico específico para cada mídia, contido nos módulos de Ajuste em Vídeo e em Áudio. O módulo Ajuste em Áudio e o tratamento de fluxos elementares de dados porventura existentes, no entanto, não serão detalhados, visto não fazerem parte do escopo desta dissertação (Maranhão et al., 2005).

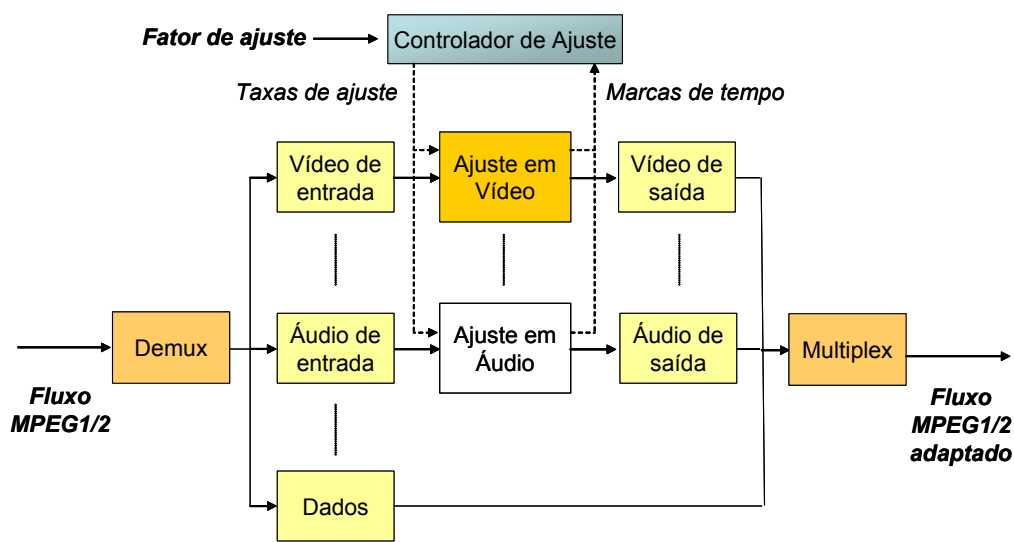


Figura 30: Sistema de ajuste elástico.

Inicialmente, o fluxo de entrada é decomposto em seus fluxos componentes pelo módulo *Demux*. É importante salientar que os dados contidos nos *buffers* de *Vídeo* e *Áudio de Entrada* contêm também os respectivos metadados, como as marcas de tempo, os números do PES e do Pack a que pertencem, dentre outros parâmetros usados para os cabeçalhos das subcamadas PES e Mux. Esses metadados auxiliam no processo de sincronização e de multiplexação posteriores.

O *Controlador de Ajuste* é responsável por receber a taxa de exibição desejada pelo formatador e por sincronizar o momento de ajuste de cada mídia, mantendo a sincronização intermídia no fluxo de sistema resultante. É interessante que uma das mídias seja considerada como o fluxo mestre. Através do controle do ajuste do fluxo mestre, é determinado o instante em que o ajuste deve ocorrer nos outros fluxos.

Os *buffers* de *Vídeo* e *Áudio de Saída* já contêm os dados audiovisuais adaptados, que são entregues ao módulo *Multiplex*. Esse módulo é responsável, considerando os metadados que acompanham as informações de áudio e vídeo individuais, por montar o novo fluxo MPEG-2, segundo o mesmo padrão recebido na entrada do sistema. Note que nenhuma decodificação dos dados é realizada, diminuindo o atraso no processamento e a deterioração na qualidade das diversas mídias que compõem um fluxo de sistema.

Ajuste Correlacionado do Áudio e do Vídeo

Uma vez que a voz é mais sensível ao erro de sincronização intramídia do que o vídeo, é adequado escolher o fluxo de áudio como o fluxo mestre e o fluxo de vídeo como escravo para as operações de determinação do instante e do intervalo de tempo em que o fluxo de sistemas deve ser modificado. Na proposta atual, no entanto, os módulos de Ajuste em Vídeo e em Áudio atuam de forma independente, e o mais uniformemente distribuído possível. O Controlador de Ajuste atua determinando possíveis alterações para a manutenção do sincronismo (*lip sinc*), conforme o algoritmo que se segue.

Algoritmo de Controle Correlacionado do Ajuste

Após o processo aproximadamente uniformemente distribuído de adaptação, os valores gerados para as marcas de tempo das unidades de informação de cada mídia são reportados ao Controlador de Ajuste, pelos módulos de Ajuste em

Vídeo e em Áudio. Para evitar uma perda de sincronização (*lip sinc*) observável, o Controlador de Ajuste compara continuamente o valor das marcas de tempo dos diversos fluxos. Se o limite igual a 120 ms para a diferença entre as marcas de tempo entre os fluxos audiovisuais, escolhido considerando-se os resultados obtidos em (Aly & Youssef, 2002), for excedido, o Controlador de Ajuste comanda a diminuição ou aumento da taxa de ajuste individual das mídias.

A decisão sobre a operação a ser realizada, ou seja, diminuição ou aumento da taxa de ajuste individual, o valor do ajuste e sobre qual fluxo realizá-la depende da taxa total de ajuste obtida em cada instante, tentando sempre se igualar ao fator de ajuste solicitado pelo formatador.

Compressão e Expansão em Vídeo

A estratégia adotada para o ajuste em vídeo é a inserção e descarte de quadros com prioridade. O mecanismo de determinação da operação a ser realizada, inserção ou descarte, utiliza a taxa de transferência de quadros, definida como a relação entre o número de quadros de saída e o de entrada, no módulo de Ajuste em Vídeo. A taxa resultante é comparada com a solicitada pelo Controlador de Ajuste, obtendo-se a indicação de qual operação a realizar.

O algoritmo de compressão e expansão em vídeo atualmente implementado analisa os quadros presentes em uma seqüência do vídeo e, de acordo com o fator de ajuste solicitado, seleciona os quadros a serem duplicados ou descartados. A seleção dos quadros visa distribuir os quadros inseridos ou descartados o mais uniformemente possível, dentro da seqüência.

No caso de descarte de quadros, prioriza-se a remoção de quadros B, uma vez que não exige a conversão de macroblocos de outros quadros nem a reordenação do fluxo. Caso necessário, são escolhidos os quadros P ou I, na ordem inversa em que eles aparecem na estrutura do GOP.

A forma de inserção de quadros adotada é através da duplicação de figuras de qualquer tipo, mas sem exigir a reordenação dos quadros nem a conversão de tipo de quadros. Para as figuras cujo posicionamento no fluxo transmitido não corresponde à ordem de apresentação a ser seguida, o algoritmo mantém uma cópia e apenas realiza sua replicação no momento adequado. Ou seja, o posicionamento, no fluxo transmitido, dos quadros duplicados garante o correto ordenamento durante a exibição.

Tanto no caso de inserção quanto de descarte, o contador *temporal_reference* de cada figura é adequadamente modificado para todas as figuras, conforme discutido na Seção 2.2.

Algoritmo de Controle de Ocupação do Buffer

Para garantir a operação correta do *buffer* de decodificação, o módulo de Ajuste em Vídeo deve considerar as condições descritas na Subseção 4.2.3. O algoritmo descrito exige a avaliação criteriosa do tamanho, em bits, e do intervalo de tempo das figuras selecionadas para a duplicação ou o descarte. A garantia de prevenção de *overflow* pode ser obtida através do acompanhamento da ocupação do *buffer*, considerando-se a entrada e a saída de figuras e os processos de inserção e remoção de quadros.

Para a prevenção de *overflow* e *underflow* decorrentes da modificação, pelo processo de ajuste, da taxa média de codificação de quadros, são realizadas manipulações nos quadros subseqüentes. A escolha criteriosa do quadro a ser retirado ou inserido facilita a operação de compensação a ser realizada.

A fim de diminuir os requisitos de capacidade de processamento e tempo necessário para a execução do algoritmo proposto, o principal método para o aumento e diminuição do tamanho de quadros é através da inserção e retirada de bits de enchimento em *slices* e figuras. Adicionalmente, para a diminuição do tamanho, também pode ser adotado o descarte de coeficientes DCT. A conversão de quadros não foi adotada para nenhum dos processos, visto ser uma atividade que consome bastante processamento e tempo.

Recuperação da Referência de Relógio

A avaliação do impacto do ajuste elástico sobre o controle da recuperação da referência de relógio pelo decodificador está baseada na manipulação do valor da amostra do SCR/PCR com a finalidade de refletir as alterações introduzidas no fluxo de sistemas através das operações de inserção e retirada de quadros e de controle de ocupação do *buffer*.

5.2. Implementação do Adaptador de Ajuste Elástico

A seguir, serão descritas as implementações dos módulos previstos na estrutura da Figura 30, salientando-se as opções escolhidas.

Controladores de ajuste elástico

O Controlador de Ajuste e os controladores de vídeo e de áudio foram implementados como uma hierarquia de controladores, conforme pode ser observado na Figura 31. A vantagem decorrente é a flexibilidade permitida na escolha dos algoritmos e parâmetros necessários para a realização do ajuste elástico em cada mídia. A sincronização intermídia necessária é controlada pelo módulo *Controlador de Ajuste*, cujo principal elemento é denominado de *TimeScaleController*. Os controladores de ajuste individuais são denominados *VideoController* e *AudioController*.

A estrutura *StreamHash* é utilizada para prover o gerenciamento dos diversos módulos de entrada, de saída e dos controladores de áudio e vídeo, permitindo seu acesso pelos diferentes objetos do sistema. Ela contém a lista de todos os fluxos individuais e as referências para os seus respectivos *StreamBuffers*.

A estrutura *TimeScaleController* recebe o fator de ajuste estabelecido pelo formatador e coordena a taxa de ajuste a ser solicitada a cada elemento *VideoController* e *AudioController*. A classe *GeneralController* foi desenvolvida como um controlador para fluxos que não contenham áudio ou vídeo e é responsável por repassar os dados do fluxo de entrada para o de saída.

Uma vez que o instante de tempo em que cada fluxo individual inicia e termina, dentro do fluxo de sistema, não é conhecido *a priori*, cabe ao *TimeScaleController* o gerenciamento de cada linha de processamento. Ao ser detectado o fim de um dos fluxos individuais, esse elemento é avisado e provoca a desalocação dos recursos associados à respectiva mídia.

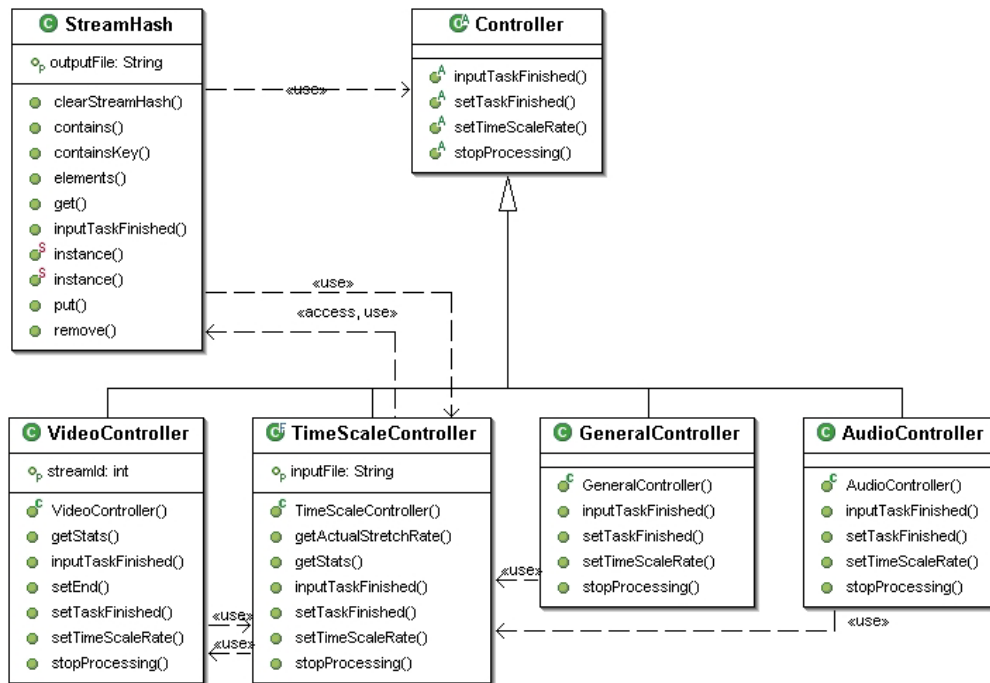


Figura 31: Estrutura de controladores.

Módulo Demux

O diagrama de classes do módulo Demux, incluindo as classes referentes à estrutura do Fluxo de Programa do MPEG, é representado na Figura 32. O módulo Demux verifica, inicialmente, qual o tipo do fluxo de entrada, que pode referir-se a um fluxo MPEG de Sistemas, de Vídeo ou de Áudio. No caso de fluxos de sistemas, é realizada a interpretação das subcamadas Mux e PES, determinando-se todos os elementos contidos na sintaxe do MPEG de Sistemas. O módulo Demux decompõe o fluxo de entrada em seus fluxos individuais, de acordo com seu tipo, que são armazenados em *buffers* circulares, denominados *StreamBuffers*, descritos como *Vídeo de Entrada* e *Áudio de Entrada*.

Para cada novo fluxo de mídia identificado, é criada, pelo elemento *StreamHash*, uma nova linha de processamento, representada na Figura 30 por um *buffer* de entrada, um módulo de ajuste, representado pelo seu respectivo controle de ajuste individual, e um *buffer* de saída. Para o caso dos pacotes PES contendo dados, o *StreamBuffer* criado é diretamente relacionado ao módulo *Multiplex*, uma vez que esse tipo de fluxo não é tratado pelo adaptador.

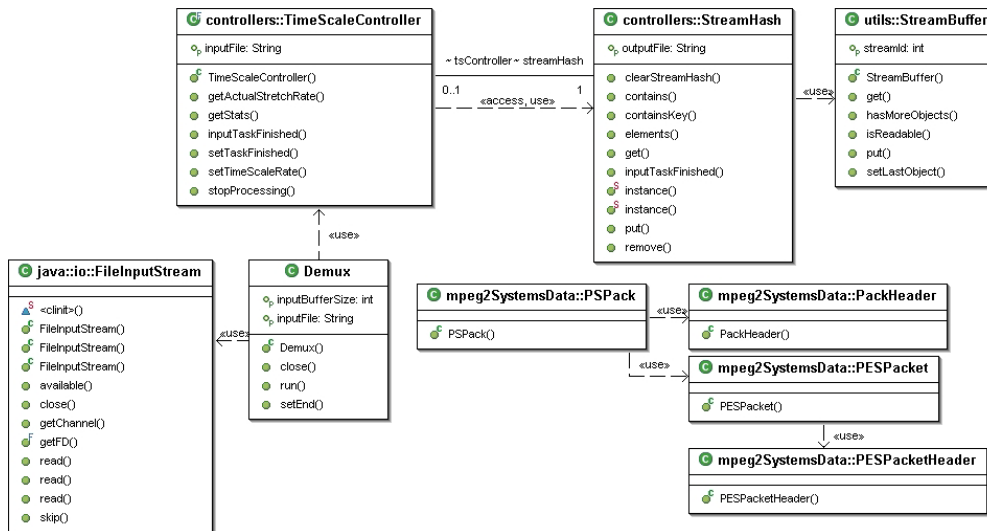


Figura 32: Módulo Demux.

Módulo de Ajuste em Vídeo

O módulo de Ajuste em Vídeo faz a leitura dos dados contidos no *buffer* Vídeo de Entrada e identifica as estruturas previstas na sintaxe do padrão MPEG-2 de Vídeo. Os elementos presentes em um vídeo MPEG-2 são armazenados em um *buffer* circular. Devido à sintaxe do padrão, que veta a existência de uma seqüência sem que esta contenha alguma figura, o módulo de Ajuste em Vídeo necessita armazenar ao menos uma seqüência antes de transferir os dados para a saída.

Conforme ilustrado na Figura 33, a classe *VideoController* possui um ponto de adaptação do algoritmo de ajuste de vídeo, que pode ser modificado dinamicamente através do elemento *ProcessorStrategy*. Essa flexibilidade pode ser utilizada, inclusive, para que o sistema determine, de acordo com a estrutura de formação de quadros dos GOP do fluxo de vídeo original, qual o melhor mecanismo de compressão e expansão a ser adotado. Também permite a avaliação de desempenho de diferentes algoritmos, considerando-se parâmetros como qualidade do fluxo de saída, em termos da percepção humana, tempo de processamento e recursos do ambiente de exibição necessários, entre outros. A estratégia de inserção e descarte de quadros é implementada pela classe *AddDropBFrames*.

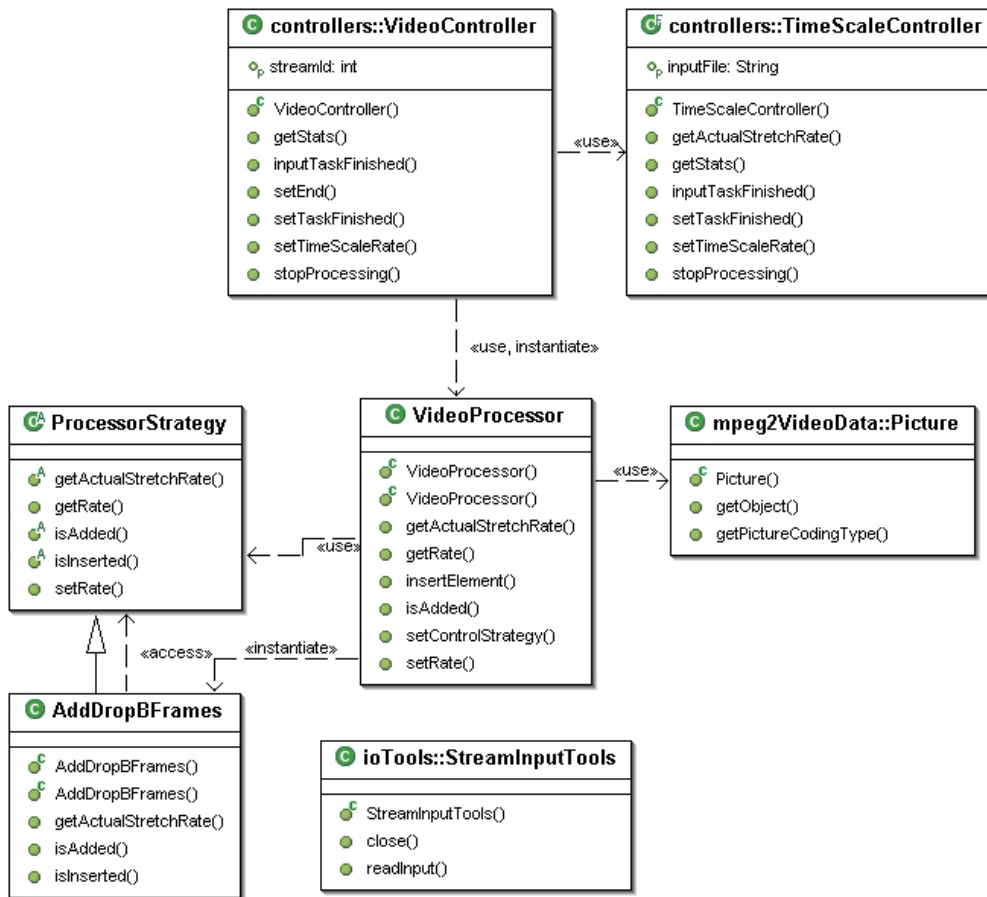


Figura 33: Módulo Ajuste em Vídeo.

A classe *VideoProcessor* realiza a identificação de todas as estruturas presentes na sintaxe do padrão MPEG de Vídeo, as quais podem ser visualizadas na Figura 34. O processo de ajuste elástico mantém a quantidade de seqüências e de GOP presentes no fluxo original, para pequenos fatores de ajuste, preservando a ordenação das estruturas elementares no fluxo de saída. Essa classe recebe, também, o fator de ajuste a ser aplicado no fluxo de vídeo e analisa os quadros contidos na seqüência. A posição, dentro do fluxo, dos quadros a serem inseridos é determinada visando prover um ajuste o mais uniforme possível. Analogamente, para o caso de descarte de quadros, é determinado o número de quadros a serem retirados do fluxo e, através da análise dos quadros da seqüência, são escolhidos os quadros a serem removidos, provendo um ajuste aproximadamente uniforme.

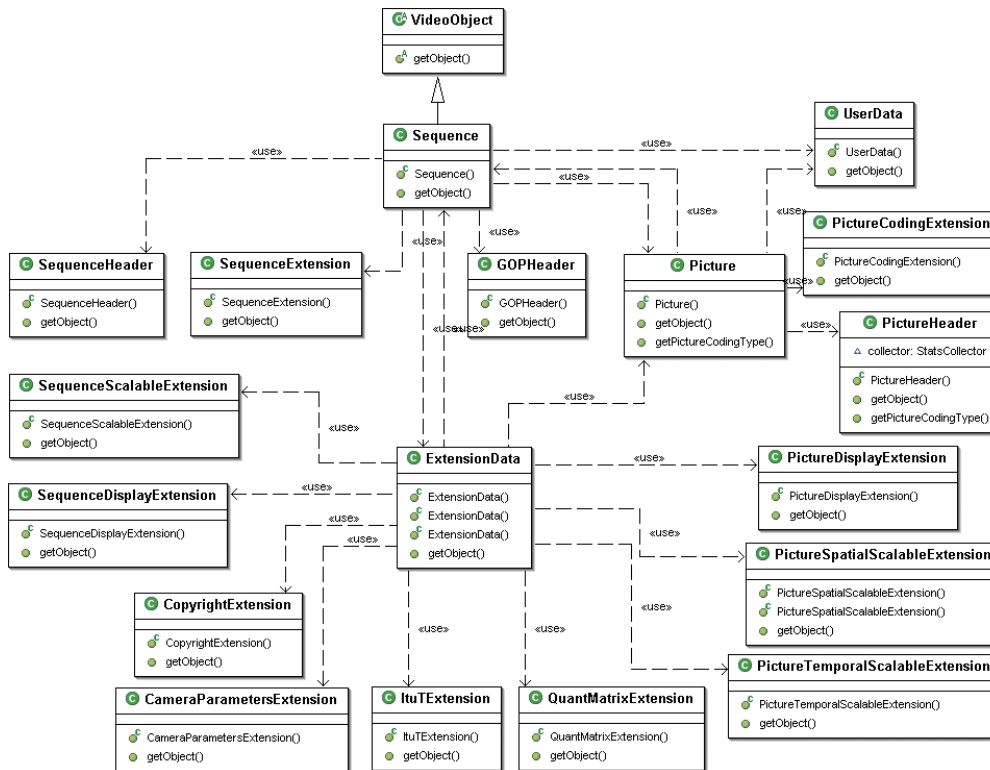


Figura 34: Elementos sintáticos do MPEG de Vídeo.

Módulo Multiplex

Caso o fluxo de entrada esteja em conformidade com o padrão MPEG de Sistemas, o módulo Multiplex é criado, sendo responsável pela montagem do fluxo de sistemas a partir das informações contidas nos *buffers* Vídeo e Áudio de Saída. Nessa etapa, são considerados os metadados capturados no processo de demultiplexação, preservando-se a quantidade de pacotes PES e Pack presentes no fluxo original. Essa solução é adequada para Fluxos de Programa, uma vez que o tamanho dos pacotes PES e Pack não são fixos. Fluxos de Transporte exigem um maior processamento, devido ao tamanho limitado dos seus elementos Pack, gerando um número de estruturas Pack diferente do existente no fluxo original. O ajuste dos tamanhos dos pacotes Pack, que devem conter 188 bytes, pode ser realizado através da subdivisão das estruturas originais e adequação do tamanho dos pacotes através de bits de enchimento.

Para a multiplexação dos diversos fluxos individuais, o módulo Multiplex compara as informações do posicionamento temporal que cada unidade de mídia (vídeo, áudio e dados) em relação ao fluxo de entrada, tanto através da ordenação

durante o processo de leitura, quanto utilizando os valores das marcas de tempo contidas em cada respectivo pacote PES.

A saída do sistema pode ser realizada através da criação de um novo arquivo audiovisual ou através do elemento *StreamBufferOutput*, implementado na forma de um *buffer* circular que permite a disponibilização de um fluxo contínuo a ser acessado por um decodificador comercial.

5.3. Integração ao Formatador HiperMídia

Baseado nas considerações expostas no capítulo anterior e para ilustrar a utilização da função de ajuste elástico em aplicações de apresentação de documentos hiperMídia, o sistema proposto pode ser integrado ao formatador Hyperprop, desenvolvido no laboratório TeleMídia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Bachelet et al, 2004).

O formatador Hyperprop foi criado para coordenar a exibição de documentos hiperMídia, assegurando a conformidade de execução de acordo com os relacionamentos estruturais, espaciais e temporais definidos para todos os objetos que compõem uma apresentação. Através das restrições definidas por autores de documentos hiperMídia, tais como o término simultâneo da apresentação de dois objetos, e a flexibilidade de duração permitida para cada objeto, o formatador calcula a duração esperada de cada objeto de mídia baseado em algoritmos de otimização. Esses algoritmos consideram as durações mínima, máxima e ideal de cada objeto e o respectivo custo de compressão ou expansão dos mesmos.

Além da determinação do momento de exibição definido em tempo de compilação, o formatador também monitora as interações do usuário e outros comportamentos aleatórios percebidos no momento da apresentação. Alguns fatores que podem alterar o momento de exibição de objetos, conforme definido em tempo de compilação, são a ocorrência de atrasos e *jitter* na rede de comunicação e nos sistemas operacionais. Dessa forma, é necessário rever o cálculo de tempo elástico e realizar os ajustes necessários durante a apresentação dos objetos.

Ao controlar a apresentação do documento, o formatador delega aos exibidores de conteúdo a tarefa de coordenação da apresentação de cada conteúdo. Para permitir a utilização de exibidores comerciais, o formatador especifica a integração entre o formatador Hyperprop e os exibidores comerciais através de uma API, que define os métodos que os exibidores devem implementar e a forma que o formatador deve ser notificado, pelos exibidores, sobre a ocorrência de eventos de apresentação, incluindo a interação de usuários, o início e o término da apresentação de um fragmento de um conteúdo, entre outros.

Os exibidores que não implementam os métodos definidos ou que não permitem a sinalização dos eventos requeridos pelo formatador devem se comunicar através de um componente de adaptação. De acordo com essa solução, o sistema de ajuste elástico, descrito neste capítulo, pode ser utilizado como parte do adaptador que define, perante o formatador, um conjunto de exibidores com ajuste elástico para o sistema Hyperprop, cada qual fazendo uso de um exibidor comercial diferente. A proposta de integração ao Hyperprop é mostrada na Figura 35, onde o sistema de ajuste elástico é interposto entre o formatador e o exibidor, compondo um exibidor com ajuste elástico.



Figura 35: Ajuste elástico para sistemas hipermídia.

Após receber os eventos de apresentação gerados pelo exibidor com ajuste elástico e considerando as informações de apresentação dos outros objetos que compõem o documento hipermídia, o formatador determina, em tempo de execução, a duração de exibição de cada objeto. Através de comandos de apresentação, o formatador informa ao exibidor com ajuste elástico o objeto

audiovisual a ser adaptado, além de informações tais como sua localização e duração original e esperada. Ao receber esses comandos, o Adaptador determina o fator de ajuste a ser aplicado no fluxo audiovisual, executando o ajuste elástico e repassando, ao exibidor de conteúdo adequado, o fluxo modificado. Através da interface disponibilizada pelo exibidor de conteúdo, o Adaptador obtém as informações sobre os eventos de apresentação, que são reportados ao formatador.