

MPEG-2: Camada de Sistemas

José Alexandre Nalon, Yuzo Iano

Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - Departamento de Comunicações - DECOM-FEEC-UNICAMP

Resumo: O padrão MPEG é o formato de compressão de sinais de vídeo e som utilizados pela televisão digital de alta definição (HDTV - "High Definition Television"). Esse padrão permite obter altas taxas de compressão dos sinais mantendo alta qualidade tanto do som quanto do vídeo, bem como oferece vários recursos para a codificação, a transmissão e a decodificação eficientes. A camada de sistemas do MPEG é um conjunto de definições que contém informações de multiplexação dos sinais, permitindo combinar diversos sinais de áudio e vídeo em uma única seqüência de bytes que podem ser transmitidos ou armazenados. A camada de sistemas do padrão MPEG-2 também define dois modos de multiplexação, um mais adequado ao armazenamento dos sinais em meios digitais com baixo nível de erro, outro que permite fazer a transmissão eficiente de diversos sinais diferentes simultaneamente em um canal passível de erros. Adicionalmente, a camada de sistemas fornece recursos para controle, acesso condicional, embaralhamento de sinais e sincronização dos eventos.

I. INTRODUÇÃO

O padrão MPEG foi desenvolvido pelo *Moving Pictures Experts Group*, um grupo de trabalho da *International Standards Organization (ISO)*, com o objetivo de padronizar a compressão de vídeo e áudio digital, bem como a sincronização dos eventos[1][2]. O primeiro padrão lançado, conhecido como MPEG-1, padronizava a compressão de vídeo não-entrelaçado a uma taxa de 1,5 Mbit/s. Esse formato obteve grande sucesso na distribuição de multimídia, mas é pouco adequado à transmissão de programação necessária na HDTV [3]. O segundo padrão, conhecido como MPEG-2 oferece a possibilidade de codificar vídeo entrelaçado, vários canais de som e texto, bem como a transmissão robusta de dados de várias programações diferentes ao mesmo tempo. Pela sua flexibilidade, os mais conhecidos padrões propostos para HDTV utilizam esse formato.

Para obter uma maior flexibilidade e facilitar a compreensão da padronização, o modelo MPEG é dividido em *camadas* [4][5]. Cada uma dessas camadas tem seu papel bem definido.

A informação que compõe a seqüência de saída é constituída dos sinais codificados de vários sinais de áudio e vídeo, informações de sincronismo, suporte a embaralhamento de sinais para canais restritos, tabelas de serviços e dados privados não especificados pelo padrão. A Figura 1 mostra um multiplexador MPEG-2

típico. Como pode ser visto na Figura 1, não existe nenhuma definição de proteção de erro ou modulação. Essas características são deixadas a cargo da aplicação que estará utilizando o padrão. Da mesma forma, não existem definições de conexão ou dos níveis dos sinais elétricos a serem utilizados, ficando isso também a cargo da aplicação.

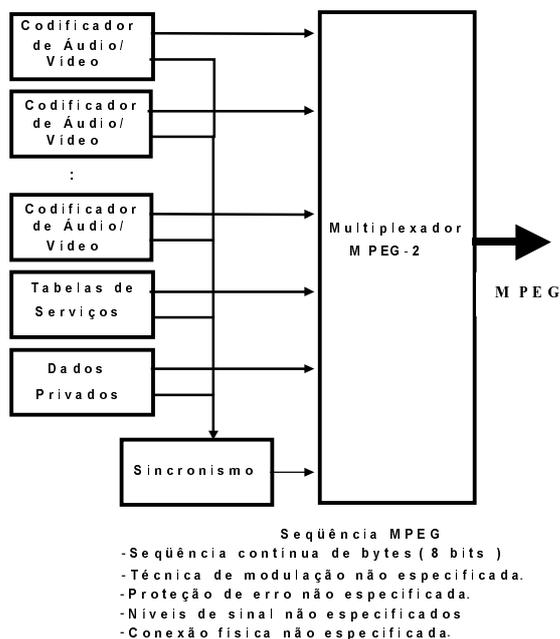


Figura 1. Típico Multiplexador MPEG-2.

Os dados são comprimidos em *unidades de acesso*, que por sua vez são agrupadas para formarem *pacotes* que são transmitidos ou armazenados. Para coordenar e sincronizar esses pacotes, *estampas de tempo* são definidas. As seqüências resultantes são multiplexadas em *seqüências de programa (programme streams)* ou *seqüências de transporte (transport streams)* [1][6]. A camada de sistemas MPEG utiliza um decodificador idealizado, cuja função é interpretar os grupos de pacotes, extraindo as informações de sincronismo, áudio, vídeo, e outras, e distribuir essas informações aos decodificadores correspondentes. O padrão MPEG não define o sistema de codificação, apenas o de decodificação, o que dá margem a várias possibilidades de otimização.

Os dados que chegam ao decodificador MPEG são armazenados em um *buffer* de entrada. Uma das tarefas mais importantes do decodificador é impedir a sobrecarga e o esvaziamento do *buffer*. O esvaziamento ocorre quando a compressão é baixa, produzindo muitos dados por sinal codificado. No

processo de decodificação, uma quantidade grande de dados é retirada, deixando o *buffer* vazio. De maneira similar, a sobrecarga acontece quando a compressão é alta, produzindo poucos dados por sinal codificado. No processo de decodificação, poucos dados são retirados do *buffer*. Ambos os fenômenos causam efeitos espúrios no sinal decodificado.

Este artigo pretende dar uma visão panorâmica do funcionamento da camada de sistemas do padrão MPEG, bem como de suas características principais mais básicas.

II. UNIDADES DE APRESENTAÇÃO E UNIDADES DE ACESSO

Um sinal não codificado e pronto a ser apresentado no dispositivo de saída é chamado uma *unidade de apresentação*. Cada imagem de um sinal de vídeo não codificado é chamado *unidade de apresentação de vídeo*. Similarmente, um sinal de áudio pronto a ser exibido no dispositivo de saída é chamado *unidade de apresentação de áudio*.

O padrão MPEG define maneiras de se codificar sinais de vídeo e áudio. Esses esquemas de compressão fogem do escopo deste artigo, mas estão detalhados em outros artigos desta mesma publicação.

Cada unidade de apresentação codificada e pronta a ser inserida pelo multiplexador na seqüência de saída é chamada *unidade de acesso*. Da mesma maneira descrita anteriormente, a seqüência de unidades de apresentação de vídeo codificadas são chamadas *unidades de acesso de vídeo*. De maneira similar, temos *unidades de acesso de áudio*.

O resultado da codificação provida pelo MPEG resulta em uma sucessão de unidades de acesso. A sucessão de unidades de acesso de vídeo é chamada *seqüência elementar de vídeo*, e a sucessão de unidades de acesso de áudio é chamada *seqüência elementar de áudio*.

A Figura 2 ilustra cada uma das unidades descritas para o vídeo. Cada imagem componente da seqüência de vídeo forma uma unidade de apresentação de vídeo. Cada uma dessas imagens codificadas forma uma unidade de acesso de vídeo. É interessante notar que o tamanho da unidade de acesso resultante, nesse caso, é variável e depende bastante das características da codificação. Por fim, a sucessão destas unidades forma uma seqüência elementar de vídeo.

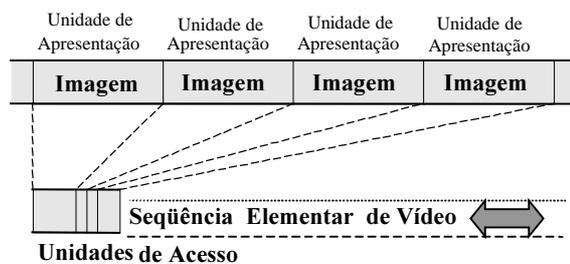


Figura 2. Unidade de Apresentação, Unidades de Acesso e Seqüência Elementar

III. PACOTES

Cada seqüência elementar é dividida em vários *pacotes de seqüências elementares (PES - Packetized Elementary Streams)*, com uma sintaxe específica que possibilita recuperar a sincronização e direcionar os dados aos respectivos decodificadores. Cada pacote PES contém apenas uma seqüência elementar de vídeo ou áudio, e possui um cabeçalho contendo informações sobre sincronismo, embaralhamento dos dados, níveis de prioridade dos pacotes, indicações de modo, entre outros. A Figura 3 mostra um cabeçalho típico de um pacote PES.

O cabeçalho é constituído de vários *bytes*. Os 3 *bytes* iniciais identificam o cabeçalho. A codificação dos sinais e sua divisão em pacotes é feita de tal maneira que a seqüência de *bytes* que identificam um pacote não seja reproduzida em nenhum outro lugar da seqüência resultante, ou seja, nenhum byte do sinal codificado será idêntico a um identificador de cabeçalho.

Seguindo o código de início de cabeçalho vem um *byte identificador da seqüência*. A função desse *byte* é identificar a qual seqüência elementar aquele pacote pertence, permitindo assim que várias seqüências diferentes sejam multiplexadas juntas, possibilitando a sua identificação posterior.

Seguindo o identificador da seqüência segue um campo que identifica o tamanho em *bytes* do pacote. Um pacote tem o tamanho variável, indo até o máximo de 64 kBytes.

Em seguida, o cabeçalho possui 16 *bits* (chamados **flag1** e **flag2**) que contém indicadores da presença ou ausência de vários campos opcionais que podem estar incluídos no cabeçalho do pacote. Esses campos possuem informações como: presença ou não do embaralhamento do sinal, informação de copyright, prioridade relativa, entre outros.

Dois desses indicadores são extremamente importantes, marcados como P e D na Figura 3. Esses dois *bits* indicam a presença ou não da *estampa de tempo de apresentação* e da *estampa de tempo de decodificação*. Esses dois campos permitem o perfeito sincronismo entre os sinais, e serão detalhados logo, no próximo sub-título.

O último campo mandatório contém o tamanho do cabeçalho em *bytes*. Esse dado é necessário devido aos vários campos presentes ou não indicados por flag1 e flag2. Com todos os campos opcionais, o cabeçalho poderia atingir até cerca de 200 *bytes* de comprimento.

IV. ESTAMPAS DE TEMPO

Para permitir a perfeita sincronização entre os eventos, o padrão MPEG define as *estampas de tempo*. A Figura 4 contém um decodificador simples capaz de manter o sincronismo entre as várias seqüências. O demultiplexador indica a cada decodificador quando admitir seus respectivos pacotes de dados. Desses pacotes se extraem as unidades de acesso que são colocadas em *buffers* até que a decodificação e apresentação seja permitida. No

momento apropriado, cada decodificador se encarrega de retirar de seu respectivo *buffer* uma unidade de acesso, decodificá-la e exibir no dispositivo de saída adequado.

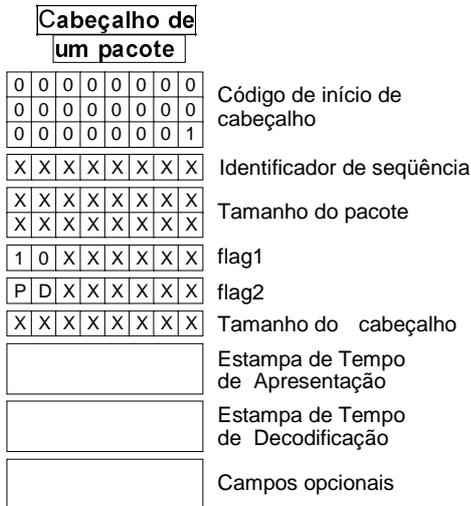


Figura 3. Campos componentes do cabeçalho de um pacote PES.

As estampas de tempo contêm explicitamente o tempo em que essa apresentação deve ser feita. Esse tempo é estabelecido em relação a uma referência inicial (por exemplo, o momento de início da reprodução, para sinais arquivados) em intervalos de 27 MHz (ou seja, 37 ns), representadas em 42 bits no cabeçalho de cada pacote. Quando cada nova unidade de acesso é gerada, o codificador se baseia em seu próprio relógio de controle para gerar as estampas de tempo, que é então inseridas no PES.

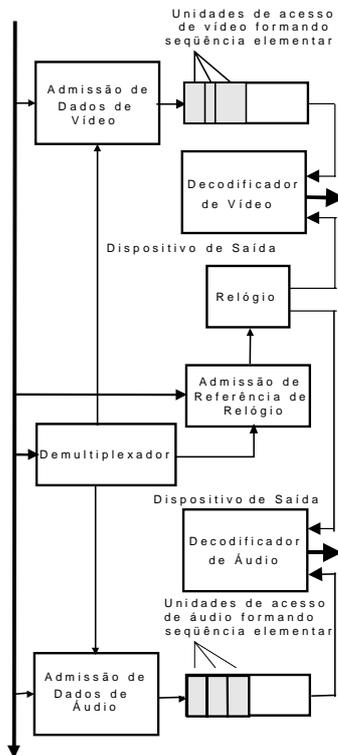


Figura 4. Funcionamento das estampas de tempo.

Para interpretar as estampas de tempo, o decodificador precisa ter seu próprio relógio de controle, em sincronismo com o relógio do multiplexador. Isso é obtido incluindo-se amostras do relógio do multiplexador na seqüência de saída. O decodificador utiliza essas amostras para ajustar o próprio relógio.

Durante a exibição, o relógio do decodificador contabiliza a passagem do tempo, em sincronismo com o codificador. Quando o momento especificado pela estampa de tempo é atingido durante a decodificação, a respectiva unidade de acesso é decodificada e enviada ao dispositivo de saída.

Existem dois tipos de estampas de tempo: a estampa de tempo de apresentação e a estampa de tempo de decodificação.

A estampa de tempo de apresentação (*PTS - Presentation Time Stamp*) especifica o momento em que uma unidade de acesso deve ser removida do *buffer*, decodificada e apresentada ao usuário. O padrão MPEG assume que esta tarefa é realizada instantaneamente. Na prática, essa tarefa demanda algum tempo, portanto, é função do projetista do decodificador levar em consideração esses pequenos detalhes.

Em sistemas simples, esta estampa de tempo é a única necessária. Em sistemas mais complexos, é necessária a estampa de tempo de decodificação (*DTS - Decoding Time Stamp*). Esta marca de tempo identifica quando uma unidade de acesso deve ser retirada do *buffer* e decodificada, mas não apresentada ao usuário. A única situação em que isso ocorre no padrão MPEG-2 é quando imagens do tipo I e P precisam ser decodificadas para gerar uma imagem interpolada tipo B antes de serem apresentadas. Esses três tipos (I, P e B) de imagens permitem a compressão necessária para transmissão de sinais de vídeo (HDTV) e estão descritos em artigo posterior.

Uma estampa de tempo de decodificação jamais ocorre sozinha, mas sempre acompanhada de uma estampa de tempo de apresentação. Nesta situação, a PTS indicará quando aquela mesma imagem será exibida. Logicamente, a PTS é sempre maior que a DTS, já que a apresentação da imagem sempre ocorrerá depois de sua decodificação.

V. OCUPAÇÃO DO BUFFER

A transmissão e a recepção de uma seqüência MPEG faz uso de dois *buffers* - um *buffer* de codificação e um *buffer* de decodificação. A necessidade do uso do *buffer* vem do fato de que a taxa de *bits* gerada na codificação de um MPEG é variável, e em geral, as transmissões são feitas em taxas constantes. Nesse caso, um *buffer* é acrescentado à saída do codificador para armazenar os dados, que são retirados a uma taxa constante. De maneira similar, a recepção é feita a taxa constante, mas o decodificador retira os dados a taxa variável, sendo portanto necessário armazenar temporariamente a seqüência de *bytes* que chega para a devida utilização.

Um *buffer* pode ser visto como um reservatório [8], onde são despejadas quantidades variáveis de água,

mas que possui um dreno a uma vazão constante. Dessa forma, o nível de água no reservatório varia, mas a vazão de saída é a mesma. Mantendo a analogia, caso se despeje muita água no reservatório, haverá uma sobrecarga, ou seja, não haverá mais como acomodar as novas quantidades de água sendo despejadas. Similarmente, caso não se despeje mais água, o dreno fará com que o reservatório se esvazie.

O comportamento do *buffer* do decodificador difere em duas características. No *buffer* do decodificador, a chegada de dados é constante; e eles são retirados de maneira desigual. Voltando à analogia com o reservatório, a água é despejada a uma vazão constante, mas o dreno é variável. Como o padrão MPEG define o comportamento do decodificador, estaremos falando no *buffer* de decodificação aqui. O *buffer* sobrecarrega quando é preenchido mais rápido do que é drenado. Isso acontece quando a compressão é pequena e muitos *bits* são produzidos a cada unidade de apresentação codificada. O *buffer* esvazia quando é drenado mais rápido que preenchido. Isso acontece quando a compressão é alta e poucos *bits* são produzidos a cada unidade de apresentação codificada.

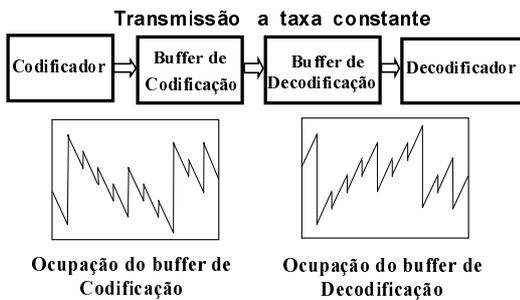


Figura 5. Ocupação dos buffers de um sistema MPEG

A Figura 5 ilustra o comportamento dos *buffers* de codificação e decodificação. Vale a pena notar que existe um atraso entre a chegada de um determinado *byte* no *buffer* de codificação e sua saída do *buffer* de decodificação. Esse atraso é denominado *atraso do buffer*. Também é interessante notar que um instante em que o *buffer* de codificação esteja quase sofrendo sobrecarga corresponde a um instante em que o *buffer* de decodificação está quase sofrendo esvaziamento. Note que a Figura 5 não ilustra o atraso do *buffer*, embora ele esteja presente.

Não é desejável que ocorra nem o esvaziamento, nem a sobrecarga dos *buffers* do sistema. Qualquer uma das duas situações representam perda de dados e, portanto, perda da qualidade da transmissão e, possivelmente, perda do sincronismo, entre outros efeitos espúrios. Existem várias técnicas baseadas em diversas estratégias para executar o controle do preenchimento e utilização dos *buffers*.

É essencial que o decodificador remova unidades de acesso de seu *buffer* no momento exato. Caso isso não aconteça, pode ocorrer qualquer uma das duas situações indesejáveis. Em geral, o sistema de estampas de tempo é o suficiente para prevenir que esses acidentes ocorram.

VI. SEQUÊNCIA DE PROGRAMA

A sequência de programa (também chamada “camada de dados”, sendo o termo em inglês *Programme Stream*) provê retrocompatibilidade do padrão MPEG-2 com o MPEG-1. Esse último formato de multiplexação é extremamente sensível a erros, e é utilizado apenas em meios de armazenamento digitais livres de erro (como discos, fitas, etc.)

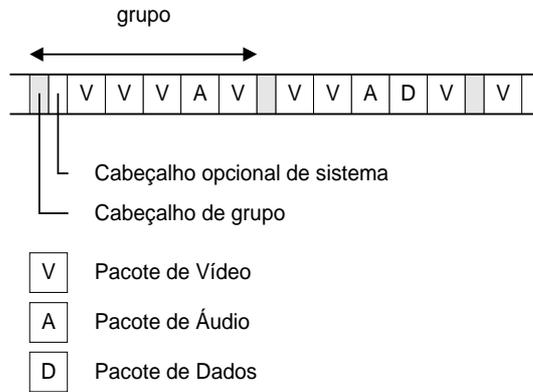


Figura 6. Sequência de Programa

Na sequência de programa, os pacotes PES são organizados em *grupos*. Cada grupo contém um cabeçalho, um cabeçalho opcional de sistema e um número qualquer de pacotes PES originários dos vários codificadores que contribuem com o sinal, em qualquer ordem. O tamanho de um grupo não é limitado, exceto que um cabeçalho de grupo deve ocorrer pelo menos a cada 0,7 segundos para manter as informações de tempo e sincronismo atualizadas.

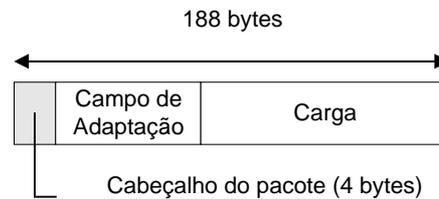


Figura 7. Pacote de Transporte MPEG-2.

O cabeçalho opcional de sistema contém um sumário das características do sinal transmitido, como taxa máxima de transferência, número de seqüências elementares de áudio e vídeo constituintes do sinal, entre outros. Sendo essas informações opcionais, o decodificador não precisa depender delas ou mesmo ser capaz de decodificá-las.

A Figura 6 mostra a organização dos vários pacotes organizados em grupos, e como a sequência resultante é formada.

A sequência de transporte (também chamada “camada de transporte”, sendo o termo em inglês *Transport Stream*) provê maneiras mais robustas de se multiplexar as seqüências elementares, permitindo que o sinal sobreviva a ambientes mais sujeitos a erros, como a transmissão em longa distância.

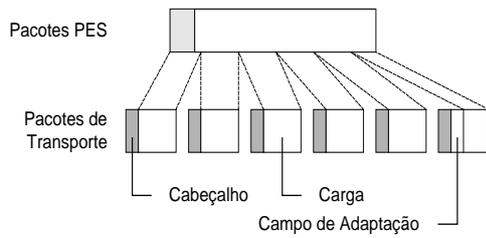


Figura 8. Distribuição dos pacotes PES nos pacotes de transporte

A seqüência de transporte consiste de pequenos pacotes de tamanho fixo, contendo os dados de cada uma das seqüências elementares. O comprimento de um pacote de transporte é sempre de 188bytes (esse valor foi escolhido por ser um múltiplo do tamanho de uma célula ATM).

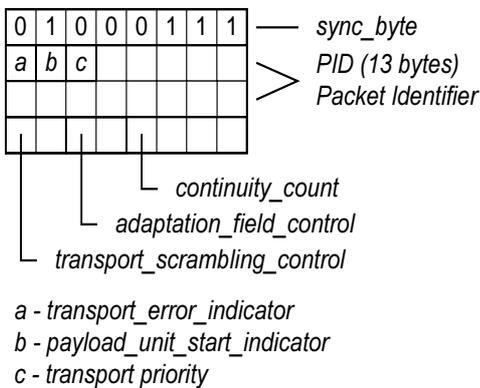


Figura 9. Cabeçalho do pacote de transporte.

Um pacote de transporte é constituído de um cabeçalho de 4bytes, seguido de uma carga de dados, ou de uma carga de dados e um campo de adaptação. Cada pacote de transporte poderá conter dados de apenas um único pacote PES em sua carga. A Figura 7 mostra um pacote de transporte típico. Como é pouco provável que um pacote PES ocupe exatamente um número inteiro de pacotes de transporte, em alguns pacotes utiliza-se o campo de adaptação para preencher o espaço vazio. Embora isso pareça um gasto desnecessário do espaço do pacote de transporte, a escolha cuidadosa do tamanho dos pacotes PES permite a distribuição sem que nenhum espaço seja perdido. O uso de pacotes PES de tamanho grande também diminui a proporção de pacotes de transporte sub-utilizados, mas desaconselha-se essa prática, já que a perda de alguns dados pode causar a perda do pacote PES inteiro. A distribuição dos pacotes PES em pacotes de transporte está ilustrada na Figura 8.

Dessa maneira, converte-se os pacotes contendo seqüências elementares em pacotes de transporte, compondo assim a seqüência de transporte do padrão MPEG-2. Em adição aos pacotes de seqüências elementares, pacotes contendo informações de serviço também são adicionados à seqüência. Pacotes nulos também podem ser inseridos na seqüência para absorver qualquer capacidade ociosa do multiplexador.

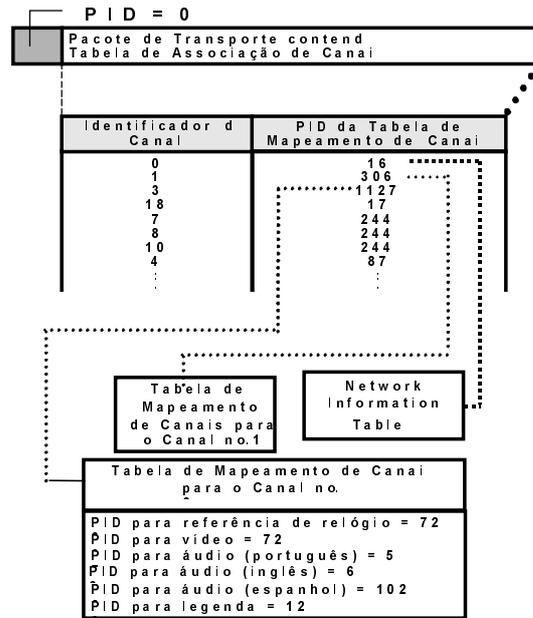


Figura 10. Relacionamento entre as várias tabelas de informação de serviços

Não existe uma ordem pré-determinada pela qual os pacotes devam aparecer na seqüência, exceto que a ordem cronológica de pacotes pertencentes à mesma seqüência elementar deve ser mantida.

O cabeçalho de um pacote de transporte tem 4 bytes de comprimento, e sua estrutura é mostrada na Figura 9. O primeiro byte, chamado sync_byte, é, como o próprio nome diz, o indicador de sincronismo e seu valor é sempre 47H.

Não existe garantia que outro byte com o mesmo valor não aparecerá na carga do pacote, mas garante-se que, na seqüência resultante, um byte com esse valor aparecerá sempre a cada 188 bytes, já que esse é o tamanho do pacote de transporte.

O identificador de pacote (PID - Packet Identifier) é utilizado para distinguir pacotes de uma seqüência elementar de outra. É composto por 13 bits, resultando na possibilidade de 8.192 valores possíveis. Desses valores, 17 são reservados para usos especiais, deixando 8.175 valores que podem ser atribuídos às diferentes seqüências. Portanto, em uma seqüência de transporte MPEG-2, é possível ter até 8.175 seqüências diferentes. Cabe ao multiplexador atribuir um PID único a cada seqüência, não havendo maiores restrições.

O indicador de início de unidade de carga (payload_unit_start_indicator) é utilizado para indicar que o primeiro byte da carga do pacote é também o primeiro byte do pacote PES.

O contador de continuidade (continuity count field) é usado para indicar a ordem cronológica dos pacotes pertencentes a uma mesma seqüência, permitindo assim ao decodificador identificar a perda de um ou mais pacotes.

VII. INFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE CANAIS

A seqüência de transporte do padrão MPEG-2 fornece um conjunto de ferramentas que permite a

identificação dos canais transmissores de cada seqüência elementar. Essas ferramentas se constituem em um grupo de tabelas que relaciona cada PID com o canal emissor, além de outras informações úteis. Essas tabelas são chamadas *informação específica de canais (PSI - Programme Specific Information)*, e deve estar presente em qualquer seqüência de transporte MPEG-2.

Essas tabelas são: *Tabela de Mapeamento de Canais (PMT - Programme Map Table)*, *Tabela de Associação de Canais (PAT - Programme Association Table)*, *Tabela de Informação da Rede (NIT - Network Information Table)*, e *Tabela de Acesso Condicional (CAT - Conditional Access Table)*. Essas tabelas são enviadas como carga em pacotes de transporte. Note que, apesar de o padrão MPEG-2 utilizar a palavra *programme*, que significa *programação*, na verdade, a especificação está se referindo aos canais que distribuem essa programação. A Figura 10 ilustra a relação entre as várias tabelas diferentes.

A tabela de associação de canais mantém uma lista completa de todos os canais contidos em uma seqüência. Esta tabela sempre tem o seu PID igual a 0, podendo ser facilmente localizada. Seu conteúdo é a relação de canais e os PIDs de suas respectivas tabelas de mapeamento de canais.

A tabela de mapeamento de canais fornece detalhes sobre as seqüências transmitidas por um canal. A tabela é constituída de vários *descritores*, que fornecem informações sobre as componentes, como os PIDs para seqüências de vídeo, áudio, legendas, informação de relógio, etc.

O canal identificado como 0 na tabela de associação de canais é a tabela de informação da rede. Seu conteúdo é privado, ou seja, definido pela transmissora, e não pelo padrão MPEG em si. Esta tabela contém informações sobre os meios físicos de transmissão da seqüência de transporte.

A tabela de acesso condicional deve estar presente caso algum dos canais contenha sinal embaralhado. Esta tabela conterá informações sobre a decodificação do sinal e provê os PIDs de pacotes que contêm informações do sistema de acesso condicional. Esse formato também não é especificado pelo padrão MPEG-2, sendo uma escolha da transmissora.

O padrão MPEG-2 também fornece meios para adicionar outras informações às seqüências, de forma similar.

VIII. CONCLUSÃO

Vimos que a camada de sistemas do padrão MPEG-2 fornece dois tipos de codificação: uma mais apropriada ao armazenamento da programação em meios digitais de alta confiabilidade, e outra mais robusta, apropriada à transmissão de sinais através de meios que possam adicionar erros.

Este último caso é bastante adequado à transmissão de seqüências de vídeo e áudio para a HDTV, e na verdade foi criada tendo essa aplicação em mente.

Adicionalmente, o padrão MPEG é extensível por definição. É bem possível que em tempos futuros as

novas tecnologias permitam a inclusão de novas formas de interação entre a mídia e o usuário. O MPEG permite que isso seja feito sem que toda a tecnologia anterior seja descartada, tornando-o extremamente flexível.

Assim sendo, é natural que todos os padrões de televisões digitais de alta definição tenham escolhido o MPEG-2 para seu formato padrão de compressão e transmissão de dados.

IX. AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo gostariam de agradecer o apoio e o suporte fornecidos pelos seguintes órgãos de fomento à pesquisa: **FAPESP** - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, **CNPq** - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, **CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; **CPqD** - Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações e ao **FAEP** - Fundo de Apoio ao Ensino e à Pesquisa da UNICAMP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISO/IEC 13818-1, "Coding of moving pictures and associated audio, Part I: Systems".
- [2] Mitchell, J. L; Pennebaker, W. B; Fogg, C. E & LeGall, D. J., "MPEG Video Compression Standard", Chapman & Hall; International Thomson Publishing, 1997.
- [3] IEEE Signal Processing Magazine, Special Issue on MPEG, September, 1997.
- [4] Chiariglione, L., "MPEG-2 Frequently Asked Questions", disponível na Internet em http://drogo.cselt.stet.it/mpeg/faq/faq_mpeg2.htm
- [5] Chiariglione, L., "MPEG Systems Frequently Asked Questions", disponível na Internet em http://drogo.cselt.stet.it/mpeg/faq/faq_systems.htm
- [6] Sarginson, P. A., "MPEG-2: Overview of the Systems Layer", British Broadcasting Corporation, Research & Development Division, 1996.
- [7] Ely, S. R., "MPEG Video Coding: A Basic Tutorial Introduction", British Broadcasting Corporation, Research & Development Division, 1996.
- [8] Castro, Fernando C. C., Castro, Maria Cristina F & Arantes, Dalton S., "Controle de Taxa em Sistemas de Codificação de Vídeo MPEG", Publicação FEEC 009/97, Unicamp, 1997.
- [9] Bhaskaran, V & Konstantinides, K., "Image and Video Compression Standards", Kluwer Academic Publishers, 1995.

José Alexandre Nalon recebeu o título de Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela UFU (Universidade Federal de Uberlândia), e o título de Mestre em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações pela UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). Atualmente, cursa o Doutorado no

Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (DECOM/FEEC/UNICAMP). Suas pesquisas principais estão em processamento e codificação de sinais digitais de áudio, imagens e vídeo.

Yuzo Iano nasceu em 29 de abril 1950. Recebeu os títulos de Engenheiro Eletricista, Mestre e Doutor pela UNICAMP (1972, 1974 e 1986). Atualmente é Professor MS-5 do DECOM/FEEC/UNICAMP

(Adjunto). É também o Coordenador do curso de graduação de Engenharia Elétrica da FEEC/UNICAMP. Trabalha com transmissão digital de sinais desde 1973, inicialmente com telefonia e posteriormente com televisão e em especial com HDTV desde 1986. Seus interesses atuais abrangem processamento e tratamento digital de áudio e vídeo (som e imagem).

e-mail: nalon@decom.fee.unicamp.br;
yuzo@decom.fee.unicamp.br