O Ambiente Integrado SAMM de Suporte à Sincronização de Dados Multimídias Pré-orquestrados[1]

Ronaldo Mussauer de Lima
mussauer@gta.ufrj.br

Flávio Paiva Junqueira
flavio@gta.ufrj.br

Paulo André da S. Gonçalves
apaulo@gta.ufrj.br

Otto Carlos Muniz B. Duarte
otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação (GTA)
Universidade Federal do Rio de Janeiro
COPPE/EE - Prog. de Eng. Elétrica/Depto. de Eletrônica
C.P. 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento do ambiente integrado SAMM (Sistema para Apresentações Multimídias), que objetiva o suporte à comunicação e apresentação em tempo real e sincronizada de dados multimídias pré-orquestrados. A técnica de sincronização multimídia utilizada foi baseada no modelo estendido da rede de Petri para composição de objetos (XOCPN). São apresentados conceitos e definições relativos à sincronização multimídia e ao modelo utilizado. O ambiente integrado é apresentado através da descrição de seus principais componentes: o serviço de sincronização multimídia; os módulos para implementação do modelo XOCPN; os módulos para automatização de processos relativos ao mecanismo de sincronização; e o aplicativo gráfico ***Composition*** que funciona como uma ferramenta de autoria especializada e oferece facilidades para o usuário que deseja compor apresentações multimídias . O artigo apresenta ainda alguns algoritmos usados na implementação do sistema e um diagrama contendo os módulos envolvidos no aplicativo e os outros módulos do ambiente integrado.

Palavras-Chave: Sistemas Multimídias, Sincronização, Redes de Petri, Redes de Computadores.

ABSTRACT

This paper presents the development of the integrated environment SAMM (Multimedia Presentation System), that supports real time and synchronized communication and presentation of pre-orchestrated multimedia data. The multimedia synchronization technique employed was based on the eXtended model of the Object Composition Petri Net (XOCPN). Concepts and definitions concerning multimedia synchronization and the used model are presented. The integrated environment is presented by the description of its main components: the multimedia synchronization service; the implementation modules of XOCPN model; the modules to automatize processes concerning the synchronization mechanism; and the graphic application ***Composition*** *that works as a specialized authoring tool and offers facilities to users that want to compose multimedia presentations. This paper also presents some algorithms used for system's implementation and a diagram including the application's modules and other modules of the integrated environment.*

Keywords: Multimedia Systems, Synchronization, Petri Nets, Computer Network.

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse nas aplicações multimídias distribuídas, que integram diferentes mídias, tais como textos, gráficos, áudio e vídeo [Stei90], vem incentivando a pesquisa e o

[1]Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, FAPERJ, FUJB, CNPq, PROTEM-CC, CAPES e COFECUB.

desenvolvimeto de sistemas que possam dar suporte aos serviços que esta classe de aplicações demanda, como a captura, a manipulação, a composição, a integração, o armazenamento, a recuperação, a comunicação e, principalmente, a apresentação sincronizada das mídias [BlSt96]. A integração das mídias decorre principalmente das dependências existentes entre as informações contidas nas mídias, que podem ser dependências temporais, espaciais e relações causais [CCO96]. Os diferentes tipos de mídia possuem requisitos específicos de desempenho relativos às restrições de tempo real e podem sofrer atrasos randômicos durante a transmissão e recuperação dos dados. Com isto, a composição temporal de diversas mídias em uma aplicação requer a utilização de técnicas específicas de sincronização que possam prover o suporte à comunicação de dados multimídias e à apresentação coerente no destino. Neste sentido, as técnicas de sincronização utilizam mecanismos para coordenar a ordenação temporal e espacial dos eventos relacionados à aplicação.

Diferentes mecanismos são propostos na literatura, com o objetivo de satisfazer os mais variados requisitos de sincronização. Cada técnica utilizada pode apresentar vantagens e desvantagens [EFI94], dependendo da finalidade para a qual o sistema multimídia está sendo desenvolvido.

A proposta de Escobar et al. [EPD94] utiliza técnicas de sincronização baseadas em protocolos, usadas principalmente para configurações de múltiplas fontes e/ou destinos. O protocolo insere estampas de tempo nos dados na fonte e utiliza um atraso de equalização (fixo ou adaptativo) em todos os destinos, com o objetivo de fixar um atraso igual para todos os fluxos e, conseqüentemente, sincronizá-los. Ramanathan & Rangan [RaRa93] propõem técnicas de realimentação para manter a sincronização intra e intermídias em sistemas distribuídos. A sincronização é implementada em servidores. Em [Rubi96] foi implementado um serviço de sincronização que utiliza esta técnica. Courtiat & Carmo [CCO96] definem um mecanismo de propósito geral, para sincronização intra e intermídias, baseado na identificação das relações causais entre unidades de informação de um ou vários fluxos. A técnica proposta por Qazi et al. [QWG93], para comunicação de objetos multimídias distribuídos, utiliza um modelo estendido (XOCPN) da rede de Petri temporizada para composição de objetos, proposto por Little & Ghafoor [LiGh90a, LiGh91b]. Woo et al. [WQG94] propõem camadas de protocolos de sincronização, baseadas no modelo XOCPN, as quais destinam-se à comunicação de informações multimídias pré-orquestradas.

Um sistema multimídia é qualquer sistema ou aplicação que suporte o processamento integrado de vários tipos de mídias com pelo menos uma mídia dependente no tempo [StNa95]. A origem dos sistemas multimídias tem sua raiz na grande evolução da tecnologia digital. Esses sistemas possuem características que são indispensáveis para que todo o sistema funcione adequadamente. Algumas dessas características são as altas capacidades de geração, armazenamento, comunicação, manipulação e apresentação de diversas mídias que sejam dependentes ou não no tempo. Além dos mecanismos para garantir a sincronização, estes sistemas necessitam de ferramentas que auxiliem o usuário nos processos de criação e execução de apresentações multimídias, e conversão de uma linguagem de alto nível, utilizada pelo usuário para especificar as apresentações, para o padrão reconhecido pelo mecanismo de sincronização utilizado. Desta forma, é essencial que seja definido um ambiente integrado para suporte ao desenvolvimento de um sistema multimídia. Carmo e Pirmez [CaPi97] propõem um ambiente para criação e recuperação de documentos multimídias para sistemas distribuídos multi-servidores, composto de sistemas de autoria, de comunicação e de restituição. Souza et al. [SFAP97] propõem um sistema para projeto de aplicações multimídias distribuídas, composto de ferramentas de edição, de análise e de produção de representações físicas. A análise das

aplicações multimídias é feita utilizando-se a técnica de descrição formal E-LOTOS e as representações físicas são geradas em Java e MHEG-5.

Este trabalho apresenta o ambiente integrado SAMM (Sistema para Apresentações Multimídias), desenvolvido no Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) da UFRJ, que destina-se a dar suporte à apresentação sincronizada de dados multimídias pré-orquestrados. Como base para o mecanismo de sincronização do presente sistema foi utilizado o modelo XOCPN, envolvido nas propostas de Qazi et al. [QWG93] e Woo et al. [WQG94], pelo fato deste modelo ser bem adequado às finalidades do sistema apresentado. O artigo apresenta definições e conceitos relativos à sincronização multimídia e ao modelo utilizado, bem como a descrição dos diversos componentes relacionados ao desenvolvimento completo do ambiente integrado SAMM.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 são apresentados os conceitos básicos relacionados à sincronização multimídia, a aplicação destino do sistema e a descrição dos modelos utilizados. Na Seção 3 é apresentado o ambiente integrado SAMM, incluindo uma breve descrição do serviço de sincronização multimídia e da implementação do modelo XOCPN. Além disto, é feita uma descrição mais detalhada da implementação do algoritmo de planejamento da transmissão/recepção de dados armazenados, do algoritmo de decisão sobre os pontos que necessitam de sincronização intermídias, da geração automática das XOCPNs e do aplicativo gráfico dedicado à composição de objetos multimídias para uma apresentação. A Seção 4 apresenta as conclusões.

2. SINCRONIZAÇÃO MULTIMÍDIA

No contexto de multimídia, o conceito de sincronização é amplo, incluindo o planejamento do acesso a recursos compartilhados, e a especificação e o controle de atividades conjuntas de processos cooperantes [Stei90]. Mais restritamente, técnicas de sincronização são mecanismos destinados a coordenar a ordenação temporal e espacial dos eventos relacionados à aplicação. Considerando as relações temporais, derivadas da integração de mídias dependentes no tempo, como um dos principais aspectos dos sistemas multimídias, o mecanismo para especificação e controle da sincronização multimídia feita neste trabalho se baseia nas relações temporais. Além disto, para a implementação do mecanismo de sincronização foi utilizado o modelo XOCPN.

2.1. Conceitos Básicos

A sincronização de dados multimídias pode ser classificada em **Sincronização intramídia** - a qual trata as dependências temporais dos dados relativos à uma mídia individual, coordenando a comunicação dos dados referentes à mídia de forma ordenada e temporizada - e **Sincronização intermídias** - a qual trata as relações temporais entre mídias, ou seja, mais de uma mídia estão envolvidas e as relações temporais entre elas podem ser contínuas no tempo ou não.

Os dados multimídias podem ser **isócronos** ou **não-isócronos**. Dados isócronos, ou contínuos, referem-se aos dados gerados a partir da captura à uma taxa constante de um evento que se sucede continuamente. Por possuírem uma dependência temporal implícita em sua geração, estes dados devem ser apresentados continuamente no tempo para que possuam significado [EFI94]. Dados relativos a áudio e vídeo são um exemplo deste tipo. Por outro lado, dados não-isócronos não possuem relação com taxa de captura, geração, comunicação ou apresentação. O mais importante no que se refere a estes dados é a composição espacial dos

mesmos no momento da apresentação. Alguns exemplos deste tipo de dados são textos, gráficos e desenhos. Além disto, um conjunto de dados pode possuir uma relação temporal sintética com outro conjunto, ou seja, é possível existir entre eles uma relação temporal formulada explicitamente. Neste caso, estes dados recebem a denominação de **pré-orquestrados**. A relação temporal sintética entre um determinado conjunto de dados é formulada e os dados, com as respectivas relações temporais, são armazenados para posterior recuperação. Este tipo de dados são utilizados, por exemplo, em uma apresentação multimídia composta por diferentes imagens contendo, cada uma delas, um áudio explicativo.

Um elemento de dado multimídia é denominado **objeto multimídia**. Um objeto multimídia, ou simplesmente objeto, é uma unidade de informação multimídia, complexa ou simples, constituída por elementos de dados relativos à uma determinada mídia [LiGh90b], sendo o tamanho e o tempo de duração características particulares de cada objeto. Os objetos podem ser armazenados, transmitidos e apresentados para o usuário de diversas formas. A denominação utilizada para uma seqüência temporal de objetos multimídias é **fluxo**.

2.2. A Aplicação Destino

A aplicação destino do presente sistema visa oferecer diferentes apresentações multimídias que possam ser selecionadas e assistidas pelo usuário final, podendo este escolher os parâmetros de qualidade de serviço da apresentação, como número de quadros por segundo, dimensão da imagem, padrão de compressão, *bits* por *pixel* etc, dependendo da mídia [LiDu96]. Estas apresentações podem corresponder a *videoclips*, aulas experimentais em laboratórios, projeção de imagens com áudio explicativo e textos com versão em diferentes idiomas etc. O sistema acessado pelo usuário final é denominado **sistema local**. Os objetos multimídias de todas as apresentações compostas encontram-se previamente armazenados em uma base de dados acessada por um outro sistema, denominado **sistema remoto**. A especificação completa de cada apresentação multimídia fica também armazenada na base de dados e pode ser identificada e acessada pelo sistema remoto. Após informado sobre a apresentação escolhida, o sistema remoto recupera as informações referentes à apresentação multimídia correspondente e, posteriormente, recupera os dados para serem transmitidos ao sistema local onde será efetuada a apresentação.

2.3. O Modelo para Composição de Objetos Multimídias - OCPN

Uma apresentação multimídia de dados pré-orquestrados pode envolver diversos fluxos e tarefas com atividades paralelas e seqüenciais. Este tipo de apresentação possui características específicas de sincronização, dependendo de como a relação temporal dos dados é formulada (ou pré-orquestrada). Tais características dizem respeito, por exemplo, à ordem de exibição dos objetos, ao instante inicial de exibição e à duração de exibição de cada objeto, à taxa de exibição dos objetos isócronos, à exibição simultânea de objetos relacionados no tempo etc. Desta forma, faz-se necessária a representação ou especificação das características de sincronização, através de um método para modelar as dependências temporais dos objetos envolvidos na apresentação.

Um método usado para especificar a sincronização e as relações entre os dados é proposto por Little et al. [LiGh90a], o qual utiliza um modelo para composição de objetos multimídias baseado em redes de Petri temporizadas (*Object Composition Petri Net* - OCPN), pelo fato destas possuírem atributos de representação de eventos concorrentes e assíncronos. No modelo OCPN, os lugares estão relacionados com a utilização de recursos e possuem um tempo de duração. No entanto, o disparo de uma transição na OCPN é um evento instantâneo. Através da OCPN, é possível especificar as diversas relações temporais entre objetos multimídias

[LiGh91b], pois esta descreve relações temporais do tipo "antes", "depois", "durante", "inicia junto", "termina junto" etc. Os recursos associados aos lugares da OCPN são relacionados com os tipos de objetos, tais como áudio, vídeo, texto etc. As OCPNs são redes do tipo série-paralela (não possuindo realimentação), são representadas por grafos e especificadas pela tupla {T, P, A, D, R, M}, explicada a seguir:

$T = \{t_1, t_2, ..., t_n\}$ é um conjunto de *n* transições;

$P = \{p_1, p_2, ..., p_m\}$ é um conjunto de *m* lugares;

$A = \{TxP\} \cup \{PxT\} \rightarrow I$, $I = \{1, 2, ...\}$ é um conjunto de arcos diretos;

$D: P \rightarrow Re$ é um mapeamento a partir do conjunto de lugares para os números reais (durações);

$R: P \rightarrow \{r_1, r_2, ..., r_k\}$ é um mapeamento a partir do conjunto de lugares para um conjunto de recursos, correspondendo a objetos de vídeo, áudio, imagem, gráfico ou texto;

$M: P \rightarrow I$, $I = \{0, 1, 2, ...\}$ é um mapeamento a partir do conjunto de lugares para o conjunto de inteiros, que representam o número de fichas em um lugar especificado.

A Figura 1 mostra o diagrama de uma OCPN, com tempo de apresentação total de 30s, no qual estão indicados, para cada lugar, o tipo de objeto e a duração do mesmo em segundos.

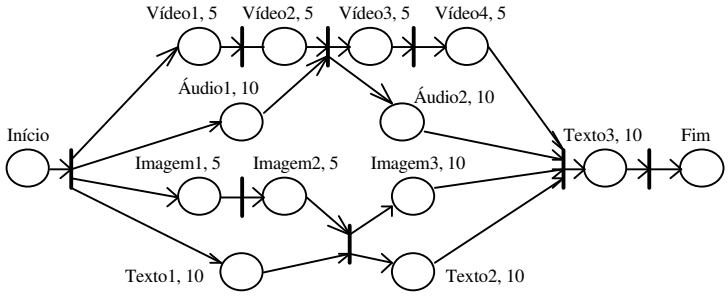


Figura 1: Diagrama de uma OCPN.

2.4. O Modelo Estendido - XOCPN

Considerando as demandas de comunicação de um sistema distribuído interconectado através de uma rede de computadores, faz-se necessário um modelo que especifique mecanismos de comunicação e sincronização de dados, principalmente para prevenir e/ou compensar irregularidades provocadas por atrasos randômicos introduzidos pela rede. Além disto, a sincronização de objetos relacionados que apresentam uma dependência temporal contínua é mais crítica, uma vez que exige comunicação e apresentação com taxa controlada. O modelo OCPN especifica os requisitos temporais ao nível da aplicação [QWG93], mas não leva em conta os requisitos de comunicação dos dados em um ambiente distribuído. Sendo assim, tornou-se necessária a extensão do modelo OCPN, denominada *eXtended OCPN* (XOCPN).

O modelo XOCPN divide os objetos em sub-objetos, com a finalidade de melhor coordenar e manter as relações temporais contínuas entre diversas mídias. Cada sub-objeto é chamado de unidade de intervalo de sincronização (*Synchronization Interval Unit* - SIU). O modelo estendido é gerado a partir das informações contidas na OCPN e visa uma sincronização mais eficiente de dados isócronos, apesar de também ser utilizado para dados não-isócronos. As XOCPNs são, também, representadas por grafos e especificadas pela tupla {T, P, A, D, R, M, Y, Z}. Esta tupla é similar à tupla da OCPN, contendo dois elementos a mais:

Y: P → {Iniciar-recursos, Liberar-recursos, Apresentar-SIU, Transmitir-SIU, Sincronizar-intermídias} é um mapeamento a partir do conjunto de lugares para o conjunto de tipos de ações a serem desempenhadas durante a comunicação;

Z: P → {endereço dos parâmetros de qualidade de serviço, endereço de uma SIU, endereço dos requisitos de sincronização} é um mapeamento a partir do conjunto de lugares para endereços de parâmetros e dados respectivos.

Na comunicação de informações multimídias pré-orquestradas os dados devem ser entregues ao destino em tempo para sua apresentação, independentemente dos atrasos randômicos da rede. Desta forma, o sistema transmissor de dados deve realizar a transmissão de cada sub-objeto no tempo apropriado, para que o sistema receptor de dados possa controlar mais facilmente a apresentação dos objetos multimídias [WoGh94]. Com isto, define-se a XOCPN tanto para o sistema local como para o remoto, com funções para sincronização de múltiplos fluxos. Assim, o modelo XOCPN é um refinamento do modelo OCPN que inclui um completo esquema para comunicação, transmissão, apresentação e sincronização de dados multimídias, apropriado para um ambiente distribuído de redes de computadores.

3. O AMBIENTE INTEGRADO SAMM

No desenvolvimento do presente sistema, foi definido um ambiente integrado para suporte à sincronização de dados multimídias pré-orquestrados, utilizando-se o modelo XOCPN como base para o mecanismo de sincronização. O objetivo desta seção é apresentar os componentes relacionados ao desenvolvimento do ambiente integrado SAMM.

Primeiramente foi escolhido o tipo de aplicação alvo. A partir desta escolha, foi definido um serviço de sincronização multimídia para atender às demandas da aplicação. Com isto, partiu-se para a implementação deste serviço e, após esta fase, iniciou-se a elaboração e implementação de módulos especializados para automatizar processos relativos ao mecanismo de sincronização utilizado e para simplificar a composição de apresentações multimídias pré-orquestradas e o armazenamento das informações necessárias à utilização das facilidades oferecidas pelo serviço de sincronização.

3.1. O Serviço de Sincronização Multimídia

Na definição do serviço de sincronização multimídia, foi proposta e implementada uma camada de protocolo, denominada **Sincronização**, para oferecer serviços a aplicações que requerem comunicação e apresentação sincronizada de dados pré-orquestrados. Esta camada realiza principalmente funções de sincronizações intramídia e intermídias, utilizando estratégias específicas, a partir do modelo XOCPN, sendo responsável pela transferência sincronizada de informações do sistema remoto para o sistema local através de uma rede de computadores. O serviço desta camada foi definido através de suas primitivas de serviço e o protocolo foi especificado através dos tipos e formatos de suas unidades de dados de protocolo [Lima96]. A implementação completa do serviço incluiu os procedimentos inerentes aos protocolos de comunicação, como: a construção das diferentes Máquinas de Estados, envolvendo as primitivas e PDUs definidas; a construção das estruturas de dados e das interfaces de comunicação entre as camadas; e o gerenciamento da comunicação dos dados (manipulação das estruturas de dados e interfaces, da memória, das conexões, das temporizações e da execução de tarefas). Foi utilizada uma arquitetura de implementação de alto desempenho, visando a implementação do mecanismo de sincronização. A definição desta arquitetura baseou-se na arquitetura desenvolvida pelo GTA, denominada GTA/MM, que serve como base para o desenvolvimento de sistemas de

comunicação multimídias, com garantias de qualidade de serviço e transporte de alta velocidade [Albu95, NuDu96]. A arquitetura GTA/MM define módulos especializados de escalonamento de tarefas com prioridades, gerenciamento de memória otimizado e gerenciamento de temporizações.

3.2. Implementação do Modelo XOCPN

Para a implementação do mecanismo de sincronização baseado no modelo XOCPN, foi necessário definir primeiramente a representação de lugares e transições da rede de Petri em linguagem de programação, bem como as operações com estes elementos. Depois foram desenvolvidos diversos algoritmos necessários para a excecução das XOCPNs de transmissão e de recepção, dentre eles, algoritmos para: a execução específica de cada lugar; o disparo correto das transições; o cálculo, tratamento e compensação do atraso dos sub-objetos; a aplicação das políticas específicas de sincronização intermídias e de controle da sincronização intramídia; a geração das XOCPNs de transmissão e de recepção etc [LiDu97]. Foram desenvolvidas, ainda, rotinas para manipulação e comunicação, pela rede, de mídias como imagens, áudio e vídeo.

3.3. Geração Automática da XOCPN

Como citado na Seção 2.4, um objeto no modelo OCPN é dividido em uma sequência de unidades menores denominadas SIUs. Cada SIU referencia apenas parte do objeto e possui tempo de duração igual a das demais. A manutenção das relações temporais entre mídias relacionadas, isócronas ou não, é feita pela sincronização intermídias. Para esta sincronização, definem-se dois tipos de pontos de sincronização: Pontos de Sincronização Inter-objetos (*Inter-object Synchronization Points*- ISPs) e Pontos de Compasso Intermídias (*Interstream Pacing Points* - IPPs). Os ISPs são os pontos de transição na OCPN que correspondem ao término ou ao começo de fluxos em paralelo. No entanto, para mídias isócronas, os pontos ISPs são insuficientes para o tratamento eficiente de anomalias. Uma solução é inserir um número apropriado de lugares na rede de Petri, que são os IPPs [QWG93], para permitir a implementação de uma determinada política de sincronização intermídias. A periodicidade destes lugares depende das mídias envolvidas e da qualidade de apresentação desejada.

A Figura 2(a) apresenta um exemplo de uma OCPN que descreve uma apresentação multimídia simples, com 40 segundos de duração total, envolvendo um objeto de áudio, um de vídeo e um de texto. A partir do modelo OCPN, pode-se gerar as correspondentes XOCPNs de recepção e de transmissão. As Figuras 2(b) e (c) mostram, respectivamente, a XOCPN receptora e a transmissora, relacionadas à OCPN da Figura 2(a), considerando a utilização de canais independentes para cada mídia.

Desta forma, foi implementado um módulo para gerar automaticamente as XOCPNs de recepção e de transmissão, a partir das especificações do modelo OCPN [Junq97]. Antes da geração automática propriamente dita, um procedimento inicial de planejamento deve ser realizado. Este procedimento está dividido no planejamento da recuperação/transmissão de dados armazenados e na identificação de caminhos ou fluxos na OCPN onde existe a necessidade de sincronização intermídias.

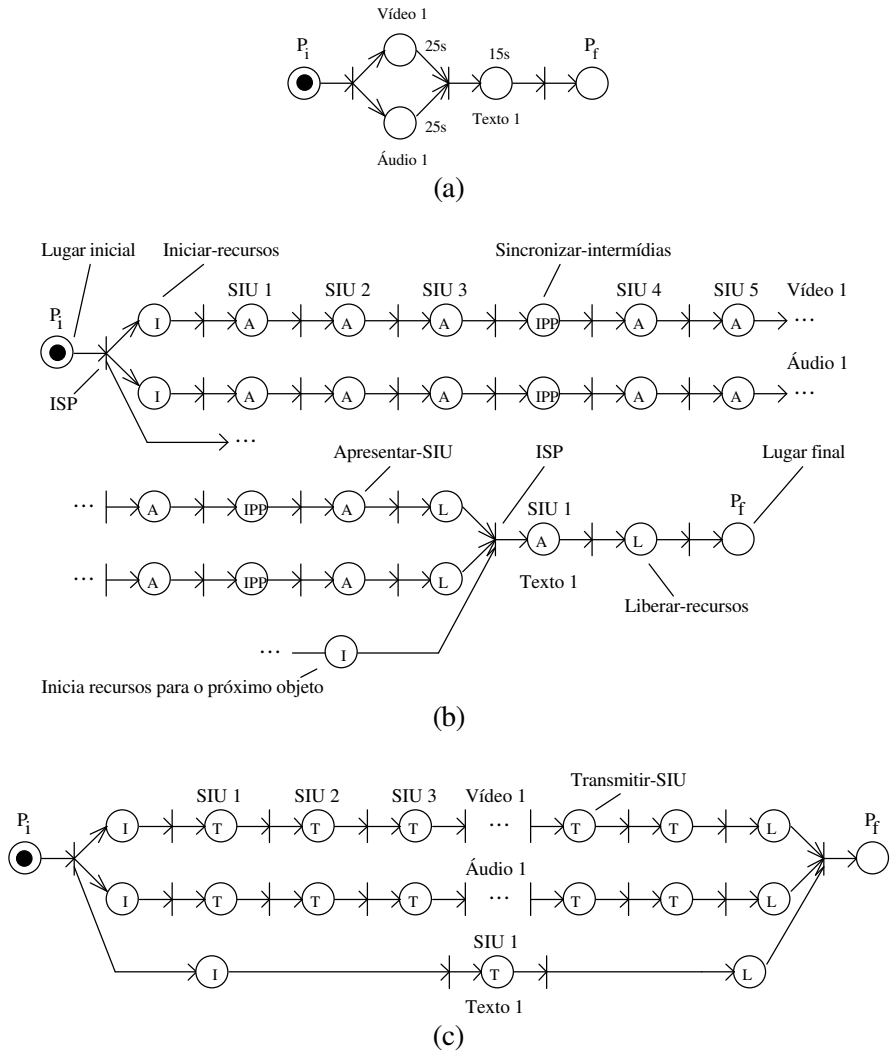


Figura 2: Representação da (a) OCPN, (b) XOCPN receptora e (c) XOCPN transmissora.

A especificação de cada apresentação multimídia é feita através de uma OCPN, que fica armazenada na base de dados e pode ser identificada e acessada, pelo sistema remoto, através de um índice próprio. Assim, o sistema remoto é informado sobre qual apresentação o usuário deseja assistir, recupera as informações referentes à OCPN correspondente, gera a XOCPN transmissora e envia os dados relativos à OCPN para o sistema local gerar a XOCPN receptora. Posteriormente, a partir do planejamento determinado para a XOCPN transmissora, o sistema remoto recupera os objetos multimídias da base de dados para serem transmitidos e apresentados no sistema local.

3.3.1. Planejamento

O planejamento na geração da XOCPN corresponde a dois procedimentos que devem ser executados previamente. Tanto na XOCPN transmissora quanto na XOCPN receptora, alguns dados específicos de cada objeto e da própria estrutura da apresentação, modelada pela OCPN fornecida, devem ser extraídas. O primeiro procedimento corresponde ao planejamento da recuperação/transmissão dos dados armazenados que é utilizado na construção da XOCPN de transmissão, a fim de ordenar a transmissão dos sub-objetos. Em seguida, o procedimento de decisão sobre os caminhos que necessitam de sincronização intermídias gera informação que é usada tanto na construção da XOCPN de transmissão quanto na de recepção, pois é baseado

nestes dados que os objetos da OCPN serão divididos em sub-objetos e os lugares IPP serão colocados.

Planejamento da Recuperação/Transmissão de Dados Armazenados

Este procedimento do planejamento consiste na identificação dos tempos de recuperação e apresentação de cada SIU da XOCPN de transmissão. Diversos fatores influem para a latência (λ) na comunicação de dados da fonte até o destino. Alguns destes fatores são: a geração dos dados, a codificação, a compressão, o empacotamento, o tempo de transmissão e os atrasos randômicos introduzidos pela rede [LiGh91a][LiGh91b]. Se for escolhido um tempo T, chamado de *tempo de controle*, tal que $T \geq \lambda$, e então planejando o tempo de recuperação de um determinado dado como sendo T unidades de tempo antes do tempo de apresentação, garante-se uma apresentação bem-sucedida [LiGh91b].

Quando são considerados dados armazenados, existe uma grande flexibilidade com relação à geração dos dados para apresentação, pois a geração de pacotes não precisa ocorrer necessariamente a uma taxa igual a de consumo. Ao contrário, é possível realizar uma taxa de geração maior que o consumo para alguns intervalos e menor para outros , dada a possibilidade de ajuste da taxa de recuperação [LiGh91b]. No entanto, em alguns casos, um simples seqüenciamento dos dados não é suficiente para prover a sincronização de dados pré-orquestrados, sendo necessário um gerenciamento das dependências temporais [LiGh92, Lima96].

Sendo assim, é evidente a necessidade de um planejamento da recuperação e transmissão dos dados armazenados. Little e Gafhoor [LiGh91b, LiGh92] propõem um método para planejar a recuperação de dados dos dispositivos de armazenamento, considerando as informações fornecidas pela OCPN e os atrasos instituídos por cada componente do sistema de comunicação. O método é baseado no critério de maximização do uso de um único canal, sem excedê-lo, empregando *buffers* na recepção.

O atraso fim-a-fim para um pacote de dados é decomposto em três componentes:

- $\mathbf{D}_p$ - um atraso constante correspondendo aos atrasos na propagação do pacote;
- $\mathbf{D}_t$ - um atraso constante proporcional ao tamanho do pacote, sendo determinado por S_m/C, onde C é a capacidade do canal e S_m o tamanho do pacote para uma mídia *m*;
- $\mathbf{D}_v$ - uma componente variável determinada pelo tráfego do canal.

Assim, para pacotes individuais de tamanho S_m,

$$D_{fim\text{-}a\text{-}fim} = Dp + D_t + D_v \qquad (1)$$

Define-se:

- ϕ_i como sendo o instante da recuperação do objeto *i*;
- π_i como sendo o instante da apresentação do objeto *i;*
- $\mathbf{T}_i$ como sendo o tempo decorrido entre a entrada do objeto (pacote) *i* no canal e sua apresentação.

Observa-se que $T_i = \pi_i - \phi_i$. T_i depende da probabilidade de recebimento de um pacote atrasado, chamada de P_a . A partir de P_a , da função F de distribuição cumulativa dos atrasos entre chegadas de pacotes no canal e da equação (1), tem-se :

$$T_i = Dp + S_m/C + F^{-1}(1 - P_a), \quad (2)$$

para cada pacote, dado que $F^{-1}(p)$ corresponde ao atraso d para $p = F(d) = P(D_v \leq d)$.

A função F depende de vários fatores, como a distância a ser percorrida na rede e o tipo de rede. Para se obter a função F deve ser realizado uma série de medidas de forma que seja possível, a partir de uma amostragem, levantar a curva de densidade de probabilidade e, por consequência, a curva de distribuição cumulativa. Observa-se ainda que o atraso determinado por D_v diz respeito somente à utilização do canal pelo serviço de sincronização.

Vistos os componentes para o cálculo do tempo de controle, o procedimento define como planejamento ótimo aquele que minimiza os tempos de controle, possibilitando uma melhor utilização do canal e diminuindo a quantidade de *buffer* necessária na recepção. Para determinar o tempo de controle mínimo, tem-se que:

$$\pi_i \geq \phi_i + T_i \quad (3)$$

$$\phi_{i-1} \leq \phi_i - T_{i-1} + Dp \quad (4)$$

expressando, na inequação (3), a impossibilidade de um objeto ser apresentado antes do instante de sua chegada e, na inequação (4), o tempo de recuperação mínimo entre dois objetos sucessivos, considerando o atraso devido à transmissão do pacote e os atrasos variáveis do canal.

Dadas as limitações anteriores para um mesmo objeto e para dois objetos consecutivos, deve-se, a seguir ϕ_i que é o tempo de recuperação do objeto. Dado que a inequação (3) é valida $\forall$i, tem-se que:

$$\phi_{i-1} \leq \pi_{i-1} - T_{i-1} \quad (5)$$

As inequações (4) e (5) fornecem duas desigualdades para ϕ_{i-1}. Avaliando o canal segundo os estados congestionado ou ocioso e observando a Figura 3, tem-se que:

$$\pi_{i-1} \leq \phi_i + Dp \text{ para o canal ocioso, e} \quad (6)$$

$$\pi_{i-1} > \phi_i + Dp \text{ para o canal congestionado.} \quad (7)$$

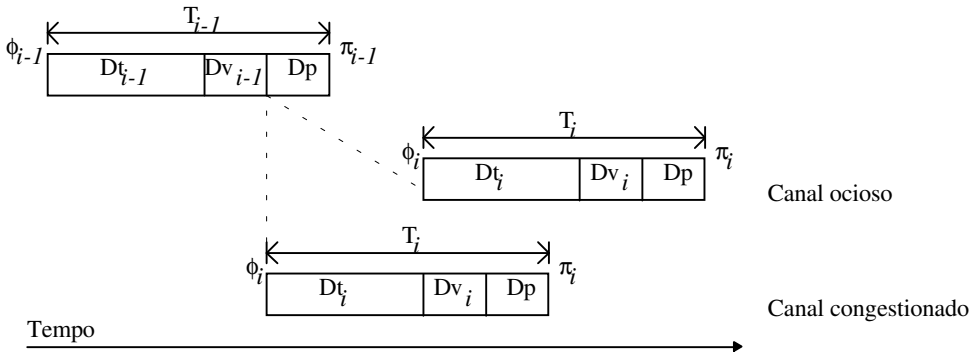


Figura 3: Planejamento da recuperação dos dados.

Para a inequação (5), pode-se observar que ϕ_{i-1} é menor ou igual a ϕ_{i-1} na inequação (4), dada a inequação (6). Desta relação pode-se concluir que a inequação (5) fornece o valor máximo de ϕ_{i-1} para um canal ocioso. Portanto, para um tempo de controle mínimo, tem-se que:

$$\phi_{i-1} = \pi_{i-1} - T_{i-1} \text{ para o canal ocioso.} \quad (8)$$

Utilizando a mesma lógica para a inequação (7), observa-se que ϕ_{i-1} na inequação (5) é maior do que ϕ_{i-1} na inequação (4), onde conclui-se que a inequação (4) fornece o valor máximo para um canal congestionado. Como se deseja um tempo de controle mínimo, tem-se que:

$$\phi_{i-1} = \phi_i - T_{i-1} + Dp \text{ para o canal congestionado.} \quad (9)$$

O algoritmo para o estabelecimento do tempo de controle mínimo para cada objeto é baseado no procedimento desenvolvido acima. Nele, o planejamento da recuperação dos objetos é feito no sentido inverso do fluxo determinado pela rede de Petri. Primeiro é calculado o tempo de recuperação do último objeto (ϕ_n) através da equação $\phi_n = \pi_n - T_n$, de forma que o mesmo esteja no destino no momento correto para a sua apresentação, e a seguir calcula-se iterativamente os tempos de recuperação dos objetos restantes, ainda no sentido inverso, até o cálculo do primeiro objeto. Deve-se observar que antes da execução deste procedimento, os objetos devem ser divididos em sub-objetos segundo o tipo de recurso e o critério de sincronização intermídias.

O algoritmo em liguagem estruturada é apresentado a seguir.

```
Procedimento Plano_Recup_Trans
φn = πn − Tn
      Para todo i entre 0 e n − 2 Faça
            Se φn−i = πn−i−1 − Dp                (Canal congestionado)
            Então
                  φn−i−1 = φn−i − Ti−1 + Dp
            Senão
                  φn−i−1 = πn−i−1 − Tn−i−1       (Canal ocioso)
            Fim-Se
      Fim-Para
```

Identificação de Caminhos para Sincronização Intermídias

Os dados que são fornecidos na especificação de uma OCPN não são suficientes para identificar prontamente quais dos objetos referenciados na rede de Petri necessitam de sincronização intermídias. O modelo da apresentação multimídia dado pela OCPN contém implicitamente a informação dos fluxos que necessitam de sincronização intermídias. Observa-se, ainda, que podem haver fluxos em paralelo onde a princípio deveria haver sincronização intermídias, como por exemplo fluxos de áudio e vídeo, sem que exista a necessidade de sincronização entre os mesmos. Daí a necessidade de se estabelecer um critério para identificar os objetos dentro de uma OCPN que necessitam de sincronização intermídias [Junq97].

O critério de decisão adotado para a identificação da sincronização intermídias entre dois fluxos foi o seguinte:

- *dois caminhos em paralelo devem ser sincronizados entre si se nenhum dos dois caminhos contém uma mídia diferente de áudio e vídeo e se nenhum deles se divide em dois ou mais caminhos.*

A partir deste critério, foi proposto e implementado um algoritmo. Suponha uma OCPN que, a princípio, possui todos os lugares marcados como não visitados. Conforme a execução do algoritmo, os lugares passam de não visitados a visitados, o que serve de referência para o prosseguimento da execução até o seu fim. O algortimo em linguagem estruturada é mostrado a seguir, onde *p* é um lugar, *t* é uma transição e *A(t)* é a lista de lugares executados a partir da transição *t*.

```
Procedimento Sincronizacao_Intermidias(t)
Para todos os p ∈ A(t)
      Se p é não visitado Então
            Se o recurso de p é igual a áudio ou vídeo
            Então
                  Caminhar pelo fluxo que contém p até
                  encontrar a próxima transição t1
                  Se o número de lugares de origem da
                  transição t1 for > 1 Então
                        Para cada lugar p1 ∈ A(t1)
                              Se lugar p1 não foi visitado
                              Então Caminho_Inverso(p1)
                  Se t1 não for a transição final Então
                        Sincronizacao_Intermidias(t1)
            Senão
                  Marcar o lugar como visitado
                  Marcar o lugar para não ter sincronização
                  intermídias
                  Seja t1 a transição disparada por p
                  Se t1 não for a transição final Então
                        Sincronizacao_Intermidias(t1)

Procedimento Caminho_Inverso(l)
Fazer
      Se l foi visitado Então
            Retorna
      Se recurso de l é áudio ou vídeo Então
            Seja t1 a transição que ao disparar executa l
            Se t1 está contida no fluxo de Ida
            Então Marcar os fluxos com sincronização
                  Retorna
            Senão
                  Marcar l como visitado
                  Retorna
      Seja t2 a transição que ao disparar executa l
      Se o número de lugares, cujos recursos são iguais a
      áudio e vídeo, que disparam t2 é > 1 Então
            Retorna
      Se o número de lugares, cujos recursos são iguais
      a áudio e vídeo, que são executados a partir do
      disparo de t2 é > 1 Então
            Retorna
      Seja l o lugar que dispara a transição t2
Enquanto t2 não for a transição inicial
```

A execução do algoritmo deve ser iniciada com a passagem do parâmetro relativo à transição inicial da OCPN e, em seguida, toda a estrutura da OCPN deve ser percorrida até que seja encontrada a transição final. Para cada transição passada como parâmetro para o procedimento `Sincronizacao_Intermidias(t)`, este verifica se existe algum lugar executado por aquela transição cujo tipo de recurso é áudio ou vídeo. Se houver, o caminho estabelecido por este lugar é percorrido até que ocorra uma de três situações:
1. encontra-se uma transição com o número de lugares de origem, cujos recursos sejam áudio ou vídeo, maior do que um (>1). Neste caso, retorna-se para o ponto onde foi iniciado o caminho inverso;
2. encontra-se uma transição com o número de lugares de destino, cujos recursos sejam áudio ou vídeo, maior do que um (>1). Neste caso, retorna-se para o ponto onde foi iniciado o caminho inverso;
3. encontra-se uma transição que disparou o caminho de ida, ou pelo menos parte dele. Neste caso, está estabelecido um ponto de sincronização. É acrescentado um novo item à lista, marcando os lugares pertencentes ao ponto de sincronização.

3.3.2. Geração da XOCPN de Transmissão e de Recepção

O objetivo desta seção é descrever os passos necessários para a geração automática da XOCPN de transmissão e de recepção, baseados na especificação de uma OCPN. A especificação da OCPN, dentro do ambiente integrado, foi feita através de arquivos ASCII, onde cada arquivo de descrição corresponde a uma apresentação multimídia. Além dos arquivos de descrição de OCPN, também são necessários arquivos complementares que fornecem informações como localização física e caracterísiticas das mídias.

Dados os arquivos com as informações necessárias, inicia-se a geração automática com o planejamento visto na Seção 3.3.1. A partir deste planejamento, várias estruturas de dados referentes aos pontos de sincronização intermídias, divisão dos objetos em sub-objetos e a recuperação/transmissão dos dados armazenados são geradas para formar a base da construção das XOCPNs.

Os dados gerados no planejamento para recuperação/transmissão dos objetos são utilizados somente na geração da XOCPN de transmissão. A XOCPN transmissora é gerada no sistema remoto e é responsável pela programação do envio dos dados de cada objeto de forma que cheguem ao destino a tempo para serem apresentados, de acordo com as relações temporais estabelecidas pela OCPN correspondente. Além de chegar a tempo, a programação de envio dos dados deve minimizar a quantidade necessária de *buffer* no destino. Como foi visto no planejamento da recuperação/transmissão dos dados, o método descrito para esta implementação refere-se a apenas um canal. Isto significa que a XOCPN de transmissão será formada por apenas um caminho. A partir disto, a montagem da XOCPN de transmissão consiste somente em formar a sua estrutura de dados.

A XOCPN de recepção é gerada no sistema local onde se realizará a apresentação multimídia. A geração desta XOCPN depende da chegada dos dados referentes à OCPN, sendo gerada independentemente da XOCPN de transmissão. Observa-se que na recepção, a XOCPN deve respeitar as relações temporais entre os objetos multimídias, mantendo os caminhos existentes na estrutura da OCPN de origem, como pode ser visto na Figura 2(b).

A atuação dos mecanismos de sincronização propriamente ditos é exercida na recepção. As políticas de sincronização são aplicadas durante a execução da XOCPN de recepção. A sincronização intramídia é realizada pelo próprio disparo das transições no caminho formado

pelos sub-objetos da mídia. No entanto, a sincronização intermídias depende da execução do algoritmo de identificação feita durante a fase de planejamento. Esta execução decide as mídias que terão IPPs inseridos entre os seus sub-objetos. Desta forma, a montagem da estrutura de dados da XOCPN de recepção consiste em dividir os objetos da OCPN em sub-objetos e inserir lugares IPP onde for necessário.

As estruturas de dados geradas, que representam as XOCPNs de transmissão e de recepção, constituem a base do serviço de sincronização, pois são a referência das ações a serem tomadas a fim de garantir as relações temporais desejadas. Portanto, a geração automática da XOCPN de transmissão e de recepção, a partir da especificação de uma OCPN, torna-se essencial para o funcionamento deste serviço.

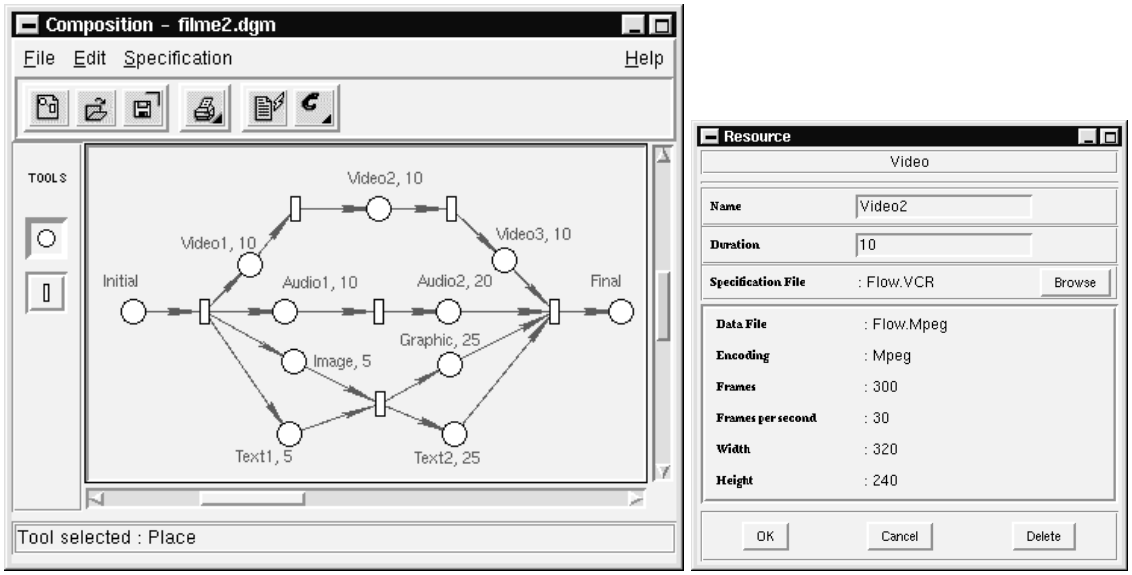
Na seção seguinte será apresentado o aplicativo ***Composition***, implementado para facilitar a composição de apresentações multimídias e gerar em arquivo as informações necessárias para a construção das XOCPNs.

3.4. Composição de Objetos Multimídias

A elaboração de uma apresentação multimídia refere-se às diversas formas que os dados (objetos multimídias) podem ser agrupados (ou compostos). Como exposto anteriormente, o modelo OCPN foi adotado para a especificação das relações temporais entre os diversos tipos de componentes de uma apresentação multimídia e as OCPNs referentes a cada apresentação ficam armazenadas em uma base de dados. Sendo assim, todas as informações relativas a cada OCPN são armazenadas em um arquivo. Através de uma tabela de correspondência, é possível identificar o arquivo que contém os dados da OCPN relativa à apresentação multimídia selecionada pelo usuário. O referido arquivo contém uma lista de todos os lugares e transições da OCPN, com as respectivas informações de cada um, conforme especificado na tupla da OCPN. Através de uma outra tabela, é possível associar o arquivo identificado com a localização, na base de dados, de cada recurso especificado pela OCPN, bem como as características das mídias correspondentes (e.g., tamanho, número de quadros, resolução, dimensão, formato etc).

Conforme descrito na seção anterior, os procedimentos para a geração automática das XOCPNs necessitam do referido arquivo de descrição da OCPN. Desta forma, para facilitar a composição dos objetos multimídias, gerando e armazenando automaticamente na base de dados os arquivos necessários para a geração das correspondentes XOCPNs, foi desenvolvido o aplicativo ***Composition***. Para o ambiente integrado apresentado neste artigo, este aplicativo funciona como uma ferramenta de autoria especializada, baseada no modelo OCPN, que oferece facilidades para o usuário que deseja compor objetos multimídias para uma apresentação e armazenar as informações da composição em uma base de dados, para que o usuário final da aplicação possa selecionar as apresentações e assisti-las em um sistema remoto.

Para a implementação do aplicativo ***Composition***, foi utilizado o conjunto de ferramentas Tcl/Tk (*Tool Command Language/Toolkit*) [Oust94, Welc95]. A interface do aplicativo ***Composition*** possui recursos básicos de manipulação de arquivos (*New*, *Open*, *Close*, *Save*, *Save As*, *Print*), recursos que permitem ao usuário manipular os objetos que compõem o diagrama da OCPN, como Inserir Lugar, Inserir Transição, Inserir Arco Direto, Excluir Objeto, Editar Propriedades dos Objetos, Inserir Comentário ao Diagrama da OCPN e, por fim, o recurso mais importante do aplicativo que é a geração da especificação da OCPN. O usuário pode abrir arquivos com extensão **dgm** ou **ocpn**. Os arquivos com extensão **dgm** (diagrama) armazenam os dados necessários para a remontagem do diagrama da OCPN na tela. Os arquivos com extensão



(a) (b)

Figura 4: Tela de (a) Composição e Edição de Objetos e (b) Características do Objeto.

ocpn contém os dados da estrutura da OCPN em formato ASCII para utilização nos procedimentos de geração das XOCPNs de transmissão e recepção.

A Figura 4 mostra a interface com o usuário do aplicativo ***Composition***, apresentando a tela de composição e edição dos objetos multimídias, Figura 4(a), e a tela de características do objeto, Figura 4(b). Nesta última, o usuário atribui o nome do objeto, sua duração e seu respectivo arquivo de especificação. Com isto, o aplicativo retorna ao usuário as propiedades do objeto em questão. Para o objeto de vídeo selecionado na figura, são retornados: o arquivo de dados, o tipo de compressão, o número total de quadros, o número de quadros por segundo, a largura e a altura.

Uma característica importante deste aplicativo é a realização das verificações necessárias na estrutura do diagrama desenhado, logo após ser executado o procedimento para geração da especificação da OCPN, de forma a validar a OCPN construída e para garantir que todos os objetos possuam duração e o respectivo arquivo de especificação definidos. A validação do diagrama é realizada verificando-se: a existência dos lugares inicial e final; se todos os lugares possuem propiedades definidas; se não existem lugares sem ligações com o resto da estrutura da OCPN; se todas as transições possuem pelo menos um arco de chegada e de saída; e se todos os lugares (exceto o inicial e o final) possuem obrigatoriamente arco de entrada e de saída. Com estas verificações realizadas, garante-se que o diagrama construído pelo usuário está montado de forma correta. Quando alguma dessas questões não são satisfeitas, todos os objetos que se enquadram no erro são automaticamente selecionados na tela e uma mensagem de erro é retornada ao usuário.

A Figura 5 mostra um diagrama contendo os módulos envolvidos no aplicativo ***Composition*** e outros módulos do ambiente integrado, bem como suas interligações, no sistema remoto e no sistema local. Pode-se observar que o referido aplicativo possui quatro módulos: Interface com o Usuário, Atribuição das Propiedades do Objeto Multimídia, Geração da OCPN e Gerência dos Arquivos do Diagrama da OCPN. O primeiro módulo define a interface com o usuário, controlando e monitorando interativamente a construção do diagrama da OCPN. O segundo módulo é responsável pela atribuição das propiedades dos objetos multimídias. Neste módulo é definido o tipo de lugar (inicial, final ou objeto) e, caso seja do tipo objeto, é identificado o tipo de recurso, seu nome e sua duração. É identificado o arquivo de especificação do objeto em questão e, finalmente, a base de dados de objetos multimídias é acessada para a leitura das propiedades do objeto. O terceiro módulo é responsável por todo o processamento necessário à geração da especificação da OCPN. Após a realização de todo o processo de validação, anteriormente descrito, este módulo acessa a base de dados dos objetos multimídias

para ler o número de identificação de cada objeto [Junq97] e, em seguida, gera a especificação da OCPN. O quarto módulo gerencia todas as operações referentes à abertura e gravação dos arquivos com extensão **dgm**.

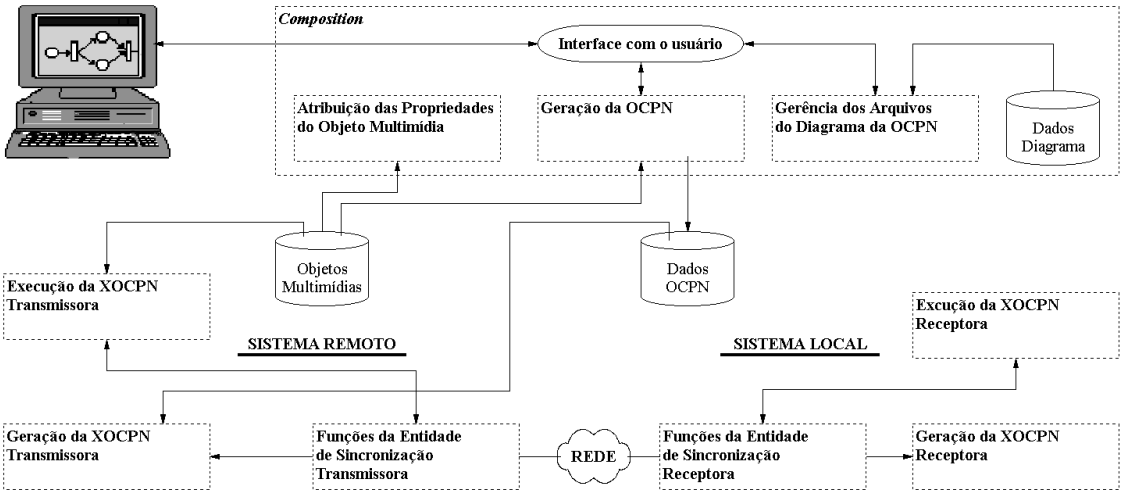


Figura 5: Diagrama dos módulos envolvidos no aplicativo e de outros módulos do ambiente integrado.

4. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o ambiente integrado SAMM para suporte à sincronização de dados multimídias pré-orquestrados. Foram descritos brevemente: os modelos OCPN e XOCPN, utilizados como base para o mecanismo de sincronização do sistema desenvolvido; o serviço de sincronização multimídia, que utiliza mecanismos baseados no modelo XOCPN e considera as relações temporais sintéticas entre objetos multimídias armazenados; e a implementação do modelo XOCPN, que inclui algoritmos necessários para a execução das XOCPNs de transmissão e de recepção. Foram descritas mais detalhadamente as seguintes implementações: algoritmo de planejamento da transmissão/recepção de dados armazenados; algoritmo de decisão sobre os objetos dentro de uma OCPN que necessitam de sincronização intermídias; geração automática das XOCPNs; aplicativo ***Composition***, que é destinado à composição de objetos multimídias e tem como base o modelo OCPN.

O planejamento na transmissão dos dados deve ser feito, não só considerando as especificações temporais da OCPN, relativas à apresentação dos objetos, como o máximo possível de fatores que influenciam no tempo de transferência dos sub-objetos, desde a recuperação na base de dados até o recebimento pela XOCPN receptora. Desta forma, este planejamento é fortemente dependente da capacidade oferecida pelo ambiente utilizado, incluindo a rede, o canal de comunicação, o processador, a base de dados etc.

Como o Tcl/Tk são linguagens interpretadas, foi possível desenvolver o aplicativo ***Composition*** independente do sistema operacional e da plataforma utilizados. Com isto, o referido aplicativo funcionou igualmente no Linux (PC), no FreeBSD (PC) e no Solaris 2.5 (Sparc 20), sem a necessidade de qualquer alteração no código fonte. Além disto, o fato do Tcl/Tk serem linguagens de alto nível facilitou sobremaneira a implementação do processo de validação do diagrama da OCPN. O aplicativo ***Composition*** tem como principal atrativo o fato

de oferecer um ambiente gráfico e simples para que autores de apresentações multimídias possam realizar de forma ágil e segura a composição dos objetos que fazem parte apresentação que se deseja criar.

A implementação do ambiente integrado SAMM encontra-se em fase avançada de desenvolvimento, contendo aproximadamente 13000 linhas de código. A maioria dos módulos relativos aos diferentes componentes do ambiente completo já foram implementados e encontam-se em funcionamento. Para a continuidade deste trabalho, é prevista a inclusão de mais um componente no ambiente integrado SAMM, que se refere a um servidor de objetos multimídias, que realizará a captura, o armazenamento e o gerenciamento na base de dados de objetos multimídias que estarão disponibilizados para recuperação por diferentes apresentações multimídias.

REFERÊNCIAS

[Albu95] Albuquerque, C.V.N., "Arquitetura de Implementação de Alto Desempenho para Sistemas de Comunicação Multimídia", *Tese de Mestrado*, PEE-COPPE/UFRJ, abril de 1995.

[BlSt96] Blakowski, G. e Steinmetz, R., "A Media Synchronization Survey: Reference Model, Specification, and Case Studies", *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. 14, nº 1, pp. 5-35, janeiro de 1996.

[CaPi97] Carmo, L.F.R.C. e Pirmez, L., "ServiMidia: Ambiente Integrado de Criação e Recuperação de Documentos Multimídia com Controle Adaptativo de QoS", *II Seminário Franco-Brasileiro de Sistemas Informáticos Distribuídos (SFBSID)*, Fortaleza, CE, pp. 320-31, novembro de 1997.

[CCO96] Courtiat, J.-P.; Carmo, L.F.R.C. e Oliveira, R.C., "A General-Purpose Multimedia Synchronization Mechanism Based on Causal Relations", *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. 14, nº 1, pp. 185-95, janeiro de 1996.

[CCS93] Carmo, L.F.R.C.; Courtiat, J.-P. e de Saqui-Sannes, P., "Towards Multimedia Commuincation Services", *Proc. of the Fourth Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, Lisboa, Portugal, 22 a 24 de setembro de 1993.

[EFI94] Ehley, L.; Furht, B. e Ilyas, M., "Evaluation of Multimedia Synchronization Techniques", *Proc. of the International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp. 514-19, 14 a 19 de maio de 1994.

[EPD94] Escobar, J.; Partridge, C. e Deutsch, D., "Flow Synchronization Protocol", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 2, nº 2, pp. 111-21, abril de 1994.

[Junq97] Junqueira, F.P., "Geração Automática de XOCPN para um Serviço de Sincronização", *Projeto Final de Graduação*, Escola de Engenharia-DEL/UFRJ, fevereiro de 1997.

[LiDu96] De Lima, R.M. e Duarte, O.C.M.B., "Comunicação Sincronizada de Dados Multimídias Pré-orquestrados", *XXIII Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH'96)*, Recife, PE, pp. 285-96, agosto de 1996.

[LiDu97] De Lima, R.M. e Duarte, O.C.M.B., "Implementação de um Serviço de Sincronização Multimídia para Comunicação de Dados Pré-orquestrados", *XV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC'97)*, São Carlos, SP, pp. 19-35, maio de 1997.

[LiGh90a] Little, T.D.C. e Ghafoor, A., "Synchronization and Storage Models for Multimedia Objects", *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. 8, nº 3, pp. 413-27, abril de 1990.

[LiGh90b] Little, T.D.C. e Ghafoor, A., "Network Considerations for Distributed Multimedia Object Composition and Communication", *IEEE Network*, vol. 4, nº 6, pp. 32-49, novembro de 1990.

[LiGh91a] Little, T.D.C. e Ghafoor, A., "Spatio-Temporal Composition of Distributed Multimedia Objects for Value-Added Networks", *IEEE Computer*, pp. 42-50, outubro de 1991.

[LiGh91b] Little, T.D.C. e Ghafoor, A., "Multimedia Synchronization Protocols for Broadband Integrated Services", *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, vol. 9, nº 9, pp. 1368-82, dezembro de 1991.

[LiGh92] Little, T.D.C. e Ghafoor, A., "Scheduling of Bandwidth-Constrained Multimedia Traffic", *Comput. Commun.*, vol. 15, nº 6, pp. 381-87, julho de 1992.

[Lima96] De Lima, R.M., "Um Serviço de Sincronização Multimídia de Dados Pré-orquestrados", *Tese de Mestrado*, PEE-COPPE/UFRJ, junho de 1996.

[NuDu96] Nunes, M.D. e Duarte, O.C.M.B., "MCF: Um Protocolo Multidestinatário Configurável com Gerenciamento de Acesso por Fichas de Permissão", *XIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores(SBRC'96)* , Fortaleza, CE, pp. 159-77, maio de 1996.

[Oust94] Ousterhout, J.K., "Tcl and the Tk Toolkit", *Addison-Wesley Publishing Company,* 1994.

[QWG93] Qazi, N.U.; Woo, M. e Ghafoor, A., "A Synchronization and Communication Model for Distributed Multimedia Objects", *Proc. ACM Multimedia '93,* Anaheim, CA, pp. 147-56, agosto de 1993.

[RaRa93] Ramanathan, S. e Rangan, P.V., "Feedback Techniques for Intra-Media Continuity and Inter-Media Synchronization in Distributed Multimedia Systems", *Computer Journal*, vol. 36, nº 1, pp. 19-31, 1993.

[Rubi96] Rubinstein, M. G., "Um Serviço de Sincronização Contínua para Aplicações Multimídias", *Tese de Mestrado*, PEE-COPPE/UFRJ, novembro de 1996.

[SFAP97] Souza, W.L. et al., "Design de Aplicações Multimídia Distribuídas (DAMD)", *II Seminário Franco-Brasileiro de Sistemas Informáticos Distribuídos (SFBSID)*, Fortaleza, CE, pp. 271-81, novembro de 1997.

[Stei90] Steinmetz, R., "Synchronization Properties in Multimedia Systems", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, nº 3, pp. 401-12, abril de 1990.

[StNa95] Steinmetz, R., e Nahrdstedt, K., "Multimedia: Computing, Communications & Applications", *Prentice-Hall*, 1995.

[Welc95] Welch, B., "Pratical Programming in Tcl and Tk", *Addison-Wesley Publishing Company,* abril de 1995.

[WoGh94] Woo, M. e Ghafoor, A., "Multichannel Scheduling for Communication of Pre-orchestrated Multimedia Information (Homogeneous Channels Case)", *Proc. IEEE INFOCOM '94*, pp. 920-27, 1994.

[WQG94] Woo, M.; Qazi, N.U. e Ghafoor, A., "A Synchronization Framework for Communication of Pre-orchestrated Multimedia Information", *IEEE Network*, vol. 8, nº 1, pp. 52-61, janeiro de 1994.