

AdapTIVE: Um Ambiente Virtual Inteligente e Adaptativo Baseado em Modelos de Usuário e Conteúdo

Cássia Trojahn dos Santos, Fernando Santos Osório

Mestrado Computação Aplicada – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
Av. Unisinos, 950 – 93.022-000 – São Leopoldo – RS – Brasil

{cassiats,osorio}@exatas.unisinos.br

***Abstract.** This paper presents an approach that aims to integrate intelligent agents, user models and automatic content categorization in a virtual environment. In this environment, called AdapTIVE (Adaptive Three-dimensional Intelligent and Virtual Environment), an intelligent virtual agent assists users during navigation and retrieval of information. The users' interests, preferences and behaviors, represented in user models, are used in the adaptation of environment structure. An automatic content categorization process is applied in the spatial organization of contents in the environment. In order to validate our approach, a case study of a distance-learning environment, used to make educational content available, is presented.*

***Resumo.** Este artigo apresenta uma abordagem que integra agentes inteligentes, modelos de usuários e categorização automática de conteúdos em um ambiente virtual. Neste ambiente, chamado AdapTIVE (Adaptive Three-dimensional Intelligent and Virtual Environment), um agente virtual inteligente atua como assistente do usuário na navegação e localização de informações. Os interesses, preferências e comportamentos dos usuários, representados em modelos de usuários, são usados na adaptação da estrutura do ambiente. Um processo de categorização automática de conteúdos é usado na organização espacial de conteúdos no ambiente. Para validar o ambiente proposto, um protótipo de um ambiente de apoio ao ensino a distância foi desenvolvido.*

1. Introdução

Atualmente, atenção tem sido atribuída à integração de Inteligência Artificial (IA) e Realidade Virtual (RV). O objetivo é criar ambientes virtuais que exploram o uso de entidades inteligentes e efetivos meios de suas representações gráficas, juntamente com interações de variadas formas, provendo maior dinamicidade, realismo e usabilidade destas interfaces. Segundo Aylett and Luck (2000), os ambientes que exploram tal integração são denominados Ambientes Virtuais Inteligentes (AVIs) e têm derivado uma nova área de pesquisa. As aplicações potenciais destes ambientes são consideráveis, podendo ser empregados em uma variedade de áreas, principalmente relacionadas com simulação [Musse, 2000], entretenimento [Nijholt and Hulstijn, 2000; Milde, 2000] e educação [Rickel and Johnson, 1997].

Uma das principais abordagens da IA exploradas em AVIs é a de Agentes Inteligentes. Estes agentes, denominados Agentes Virtuais Inteligentes, podem atuar como

assistentes dos usuários na exploração do ambiente e localização de informações [Chittaro and Ranon, 2003; Panayiotopoulos et al., 1999], estando aptos a estabelecer uma comunicação verbal (usando Linguagem Natural, por exemplo) ou não verbal (através da movimentação do corpo, gestos e expressões faciais) com o usuário. O uso destes agentes tem as seguintes vantagens: enriquecem a interação com o ambiente [Rickel et al., 2002]; tornam o ambiente menos intimidador, mais natural e atrativo para o usuário [Chittaro and Ranon, 2003]; evitam que os usuários sintam-se perdidos no ambiente [Rickel and Johnson, 2000].

Ao mesmo tempo, os sistemas capazes de adaptar sua estrutura a partir de um modelo de usuário têm recebido especial atenção. Um modelo de usuário é uma coleção de informações e suposições sobre usuários individuais ou sobre grupos de usuários, necessária para que o sistema adapte diversos aspectos de suas funcionalidades e interface [Kobsa, 1995]. O uso de um modelo de usuário tem apresentado grande impacto em sistemas de recuperação de informações [Billsus and Pazzani, 1999; Lieberman, 1995], comércio eletrônico¹[Abbattista et al., 2002], sistemas de aprendizado [Self, 1999] e interfaces adaptativas [Brusilovsky, 2001; Perkowski and Etzioni, 1998]. Estes sistemas têm se mostrado mais efetivos e/ou usáveis do que sistemas não adaptativos [Fink and Kobsa, 2000]. Entretanto, os esforços em sistemas adaptativos têm sido focados em ambientes 2D/textuais tradicionais. A adaptação de ambientes 3D é ainda pouco explorada, mas considerada promissora [Chittaro and Ranon, 2002].

Por outro lado, a organização de conteúdos em AVIs, de acordo com critérios semânticos, é muitas vezes necessária. Uma abordagem para a organização de conteúdos consiste na categorização automática destes conteúdos. Este processo, baseado em técnicas de aprendizado de máquina (vide [Sebastiani, 2002]), tem sido aplicado em contextos gerais, tais como classificação de páginas web [Pazzani and Billsus, 1997]. Entretanto, também pode ser adotado na organização de conteúdos em AVIs.

Na dissertação desenvolvida, foi proposta a integração de agentes inteligentes, modelos de usuários e categorização automática de conteúdos em um ambiente virtual [Santos, 2004]. Neste ambiente, chamado AdapTIVE (Adaptive Three-dimensional Intelligent and Virtual Environment), um agente assiste os usuários na navegação e recuperação de informações. Os interesses, preferências e comportamentos do usuário, representados em um modelo de usuário, são usados na adaptação da estrutura do ambiente. Um processo de categorização automático é usado na organização espacial dos conteúdos no ambiente. Para validar o ambiente proposto, um protótipo de um ambiente de educação a distância foi desenvolvido. Este artigo está organizado como segue. Na seção 2, a arquitetura do ambiente AdapTIVE é apresentada e seus principais componentes são detalhados. Na seção 3, o protótipo desenvolvido é apresentado. Na seção 4, as considerações finais e trabalhos futuros são comentados.

2. Arquitetura AdapTIVE

O ambiente proposto consiste na representação de um mundo 3D, acessível através da Web, usado para a disponibilização de conteúdos, os quais são organizados conforme a

¹ www.amazon.com

área do conhecimento a que pertencem. Neste ambiente (Figura 1), é dado suporte a dois tipos de usuários: *provedores* e *requerentes* da informação. Os usuários, representados por avatares, exploram o ambiente buscando informações relevantes e podem ser auxiliados pelo *agente virtual*. Cada usuário possui um *modelo de usuário* associado, gerenciado pelo módulo *gerenciador de modelos de usuários*.

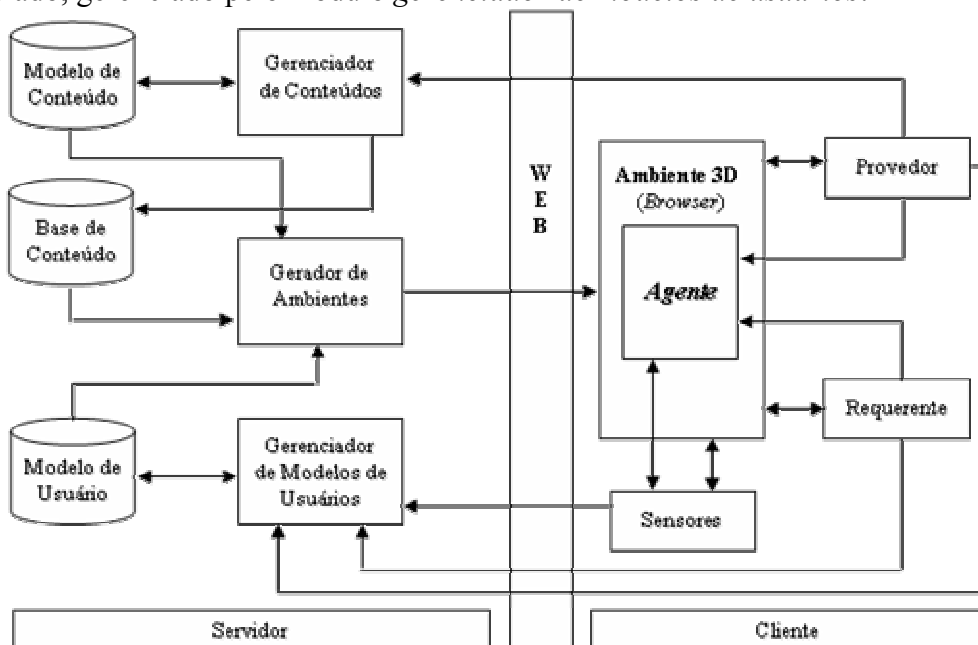


Figura 1. Arquitetura AdapTIVE.

Os conteúdos, adicionados e removidos pelo provedor através do *módulo gerenciador de conteúdos*, são armazenados em uma *base de conteúdos*. Cada conteúdo possui um *modelo de conteúdo*. O provedor, auxiliado pelo processo de categorização automática de conteúdos, atua na definição deste modelo. A partir do modelo do conteúdo, a posição espacial que o conteúdo ocupará no ambiente é determinada. A representação dos conteúdos no ambiente é feita através de objetos 3D e links para os dados correspondentes (por exemplo, documento textual, página web). O *módulo gerador de ambientes* é o responsável pela geração de diferentes estruturas 3D que formam o ambiente, e por organizar os conteúdos no ambiente, de acordo com modelos de usuários e conteúdo. A adaptação do ambiente envolve sua reorganização, em relação a disposição dos conteúdos, e aspectos de seu layout (por exemplo, uso de diferentes texturas e cores, de acordo com as preferências do usuário). Nas seções seguintes, os principais componentes do ambiente são detalhados: gerenciador de modelos de usuários, gerenciador de conteúdos e agente virtual inteligente.

2.1 Gerenciador de Modelos de Usuário

Este módulo é responsável pela inicialização e atualização de modelos de usuário. Cada modelo contém informações sobre os interesses, preferências e comportamentos do usuário. Para a coleta dos dados para composição do modelo, as abordagens explícita e implícita [Papatheodorou, 2001; Pazzani, and Billsus, 1997] foram adotadas. A abordagem explícita é usada na aquisição das preferências do usuário, compondo um modelo inicial, e a implícita é usada na atualização do modelo. Na abordagem explícita, um formulário é usado para coletar dados factuais do usuário, tais como nome, gênero,

áreas de interesse e preferências por cores. Na abordagem implícita, o monitoramento da navegação do usuário e da sua interação com o agente são feitos. Os dados coletados a partir deste monitoramento são usados na atualização do modelo inicial.

O processo de atualização está baseado em regras e fatores de certeza (FC) [Giarratano and Riley, 1998; Nikolopoulos, 1997]. As regras permitem inferir conclusões (hipóteses) a partir de antecedentes (evidências). Para cada conclusão é possível associar um FC, o qual representa o grau de crença associado à hipótese. Deste modo, as regras podem ser descritas no seguinte formato: **SE** evidência **ENTAO** hipótese com **FC = x**. Os CFs associam medidas de crença (MC) e descrença (MD) em uma hipótese dada uma evidência. Um FC = 1 indica crença total em uma hipótese, enquanto FC = -1 corresponde a descrença total. O cálculo do FC é realizado através das fórmulas (1), (2) e (3), onde P(H) representa a probabilidade da hipótese (i.e. o interesse em uma dada área), e P(H|E) corresponde a probabilidade da hipótese (H) considerando que a evidência (E) existe. No ambiente, o interesse inicial do usuário em uma área (valor inicial de P(H)) é determinado pela coleta explícita de dados e pode variar durante o processo de atualização do modelo (baseado em limiares de aumento e diminuição das medidas de crença), sendo o valor de P(H|E) obtido a partir da coleta implícita.

$$FC = \frac{MC - MD}{1 - \text{MIN}(MC, MD)} \quad (1)$$

$$MC \begin{cases} 1 & \text{if } P(H) = 1 \\ \frac{\text{MAX}[P(H|E), P(H)] - P(H)}{1 - P(H)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

$$MD \begin{cases} 1 & \text{if } P(H) = 0 \\ \frac{\text{MIN}[P(H|E), P(H)] - P(H)}{0 - P(H)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

As evidências estão relacionadas às áreas do ambiente visitadas e aos conteúdos requisitados e acessados pelo usuário. Elas são usadas para inferir as hipóteses de interesse do usuário em cada área do conhecimento, a partir de regras e FCs correspondentes. Para atualizar o modelo, as regras (4), (5), (6) e (7) foram definidas. As regras (4), (5) e (6) são usadas quando existem evidências. Neste caso, a combinação das regras é feita e o FC resultante é calculado – fórmula (8), onde duas regras com FC1 e FC2 são combinadas. A regra (7) é usada quando não existem evidências, indicando total falta de interesse do usuário pela área correspondente.

SE solicitou **ENTAO** interesse em Y com **FC = x** (4)

SE navegou **ENTAO** interesse em Y com **FC = x** (5)

SE acessou **ENTAO** interesse em Y com **FC = x** (6)

IF (não solicitou) e (não navegou) e (não acessou) **ENTAO** interesse em Y com **FC = x** (onde x < 0) (7)

$$FC = \begin{cases} FC1 + FC2 (1 - FC1) & \text{Se ambos } > 0 \\ \frac{FC1 + FC2}{1 - \text{MIN}(|FC1|, |FC2|)} & \text{Se um } FC < 0 \\ FC1 + FC2 (1 + FC1) & \text{Se ambos } < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A cada n sessões (janela de tempo ajustável), para cada área, as evidências (navegação, solicitação e acesso) são verificadas, as inferências com as regras são feitas e os FCs correspondentes as hipóteses de interesse são atualizados. A partir da ordenação dos FCs resultantes, é estabelecido um ranking das áreas de interesse do usuário. Deste modo, é possível verificar as alterações no modelo inicial do usuário e, então, atualizar este modelo. Com base nesta atualização, a reorganização do ambiente é feita – os conteúdos que correspondem as áreas de maior interesse dos usuários são colocados, em ordem de visualização (visando o acesso mais fácil), mais próximos dos conteúdos cujas áreas são consideradas menos interessantes pelo usuário. Ressalta-se que as modificações no ambiente são sugeridas ao usuário e realizadas sob seu consentimento.

A motivação para adotar regras e FCs está baseada nas seguintes premissas. Primeiro, o formalismo permite inferir hipóteses de interesses do usuário em áreas do conhecimento a partir de um conjunto de evidências, considerando o grau de incerteza associado as hipóteses. Segundo, não é necessário conhecer *a priori* um conjunto completo de probabilidades e tabelas condicionais, como ocorre com o uso das Redes Bayesianas, uma abordagem comumente utilizada em modelagem de usuários. Terceiro, não é requerida a pré-definição de categorias de usuários, como nas técnicas baseadas em estereótipos. Por fim, este formalismo tem baixo custo computacional associado, é intuitivo e apresentou-se robusto.

2.2 Gerenciador de Conteúdos

Este módulo é responsável pela inserção e remoção de conteúdos, e gerenciamento de seus modelos. Os modelos de conteúdos contêm os seguintes dados: categoria (dentro um conjunto pré-determinado), título, descrição, palavras-chave, tipo de mídia e arquivo correspondente. Com base no modelo do conteúdo, a posição espacial que o mesmo deverá ocupar no ambiente é definida. Os conteúdos são também agrupados em salas virtuais correspondentes as suas áreas (categorias). Para conteúdos textuais, um processo de categorização automático de conteúdos está disponível, a partir do qual a categoria e as palavras-chave do conteúdo podem ser automaticamente obtidas. Para conteúdos não-textuais (por exemplo, imagens e vídeos), descrições textuais em linguagem natural dos conteúdos, fornecidas pelo usuário, podem ser usadas no processo de categorização automático.

Este processo está baseado no uso de técnicas e aprendizado de máquina, tais como Árvores de Decisão (ADs) [Quinlan, 1993] e Redes Neurais Artificiais (RNAs) [Haykin, 2001], e é formado pelas seguintes etapas: (a) coleta da base; (b) pré-processamento; e (c) categorização. A coleta da base consiste na obtenção dos exemplos a serem usados para treinamento e validação do classificador. O pré-processamento envolve, para cada exemplo, a eliminação das palavras irrelevantes (tais como artigos, preposições e pronomes), remoção dos afixos das palavras, e seleção das palavras relevantes, usadas para caracterizar o documento correspondente. Na etapa de categorização, os exemplos são codificados e o aprendizado e validação do classificador é feito. Após estas etapas, o classificador pode ser usado para a categorização de novos documentos.

Em um conjunto de experimentos preliminares (detalhes em [Santos and Osório, 2003]), conduzidos utilizando-se as ADs e as RNAs, com os algoritmos de aprendizado C4.5, *Backpropagation* e *CascadeCorrelation*, as ADs apresentaram taxas de erro

satisfatórias e mostraram-se adequadas ao processo de categorização (são menos sensíveis a variações em parâmetros de treinamento; adotam uma representação do conhecimento intuitiva; são fáceis de estender; permitem uma fácil conversão da representação do conhecimento para formatos tais como regras IF-THEN), sendo adotadas para uso no processo de categorização proposto. Nestes experimentos, a etapa de pré-processamento foi suportada por uma aplicação², estendida de um *framelet*, cujo *kernel* contempla o fluxo básico de dados entre as atividades de pré-processamento e geração dos scripts submetidos aos algoritmos de aprendizado.

Após o aprendizado do classificador, o “modelo aprendido” – regras extraídas da AD – é conectado ao módulo gerenciador de conteúdos. Desta forma, quando um novo conteúdo é submetido ao processo de categorização automático, ele é pré-processado, categorizado e tem suas palavras-chave extraídas.

2.3 Agente Virtual Inteligente

O agente tem como funções principais assistir os usuários na navegação pelo ambiente e na localização de informações. Ele possui as seguintes características: percepção, habilidade para interagir, conhecimento, certo grau de raciocínio e autonomia, e representação gráfica. A arquitetura do agente reflete os seguintes módulos: base de conhecimento, percepção, decisão e ação. A base de conhecimento armazena as informações sobre o usuário e a configuração do ambiente. Este conhecimento é advindo de duas fontes de informação: módulo gerador de ambientes e percepção da interação com o usuário. O módulo de percepção é o responsável por observar a interação com o usuário, sendo a informação obtida a partir desta observação usada para atualizar o conhecimento do agente. É através do módulo de percepção que o agente detecta as solicitações do usuário para auxílio à navegação e à localização de informações, as quais são feitas a partir de um diálogo em pseudo Linguagem Natural (LN), comentado a seguir; e observa as ações do usuário no ambiente. Baseado na sua percepção e no conhecimento que possui, o agente decide como agir no ambiente. O módulo de decisão é o responsável por esta atividade. As decisões tomadas são repassadas ao módulo de ação, responsável pela execução das decisões, a partir da manipulação da interface gráfica do agente e da sintetização de texto-voz de mensagens, apresentadas ao usuário.

A comunicação entre o agente e os usuários é realizada de um modo verbal, através de uma linguagem pseudo-natural e sintetização de texto-voz, e de forma não verbal, através das ações do agente no ambiente. O diálogo em linguagem pseudo-natural é formado por um grupo pré-definido de perguntas e respostas, formadas por um verbo que corresponde ao tipo de requisição do usuário, e um complemento, indicando o objeto de interesse do usuário. Durante a requisição de ajuda para localizar uma informação, por exemplo, o usuário pode indicar *Localizar<conteúdo>*. As respostas do agente são indicadas através de sua própria movimentação pelo ambiente, por indicações através de pequenas sentenças e pela sintetização de texto-voz. Na interação com o provedor, durante a inserção de um conteúdo, ele pode indicar *Inserir <conteúdo>*, e o agente apresentará a interface para a especificação do modelo do

² Framelet disponível em: <http://www.inf.unisinos.br/~cassiats/dissertacao>

conteúdo. Através desta interface, o processo de categorização automático pode ser invocado.

Além disso, um mapa topológico do ambiente é mantido na base de conhecimento do agente, contendo um conjunto de rotas para posições-chave do ambiente. De acordo com este mapa e a informação que o agente possui do ambiente (personalizado para cada usuário), ele define o conjunto de rotas que deve ser seguido na localização de determinado conteúdo ou na navegação de sua posição atual até outro local do ambiente. Dado que o agente atualiza o seu conhecimento a cada modificação no ambiente, ele está sempre apto a verificar o conjunto de rotas que leva às novas posições dos conteúdos.

3 Protótipo

Para validar a arquitetura proposta, foi desenvolvido um protótipo de um ambiente de apoio a Educação a Distância (EaD) [Santos and Osório, 2004], utilizado para a disponibilização de conteúdos educacionais. Neste protótipo, foi adotada uma divisão do ambiente virtual conforme as áreas do conhecimento dos conteúdos disponibilizados. A cada área estão associadas sub-áreas, representadas como sub-ambientes. As seguintes áreas e sub-áreas foram selecionadas para o protótipo: Inteligência Artificial (IA) – Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos e Sistemas Multiagentes; Computação Gráfica (CG) – Modelagem, Animação e Visualização; Redes de Computadores (RC) – Segurança, Gerência e Protocolos; Engenharia de Software (ES) – Análise e Projeto de Sistemas, Padrões e Qualidade de Software. A cada área está associada uma sala no ambiente e as sub-áreas estão representadas como sub-salas. As Figuras 2 (a) e (b) apresentam interfaces do protótipo que ilustram a divisão do ambiente em salas e sub-salas. Conforme o modelo do usuário, é feita a organização do ambiente: as salas que correspondem as áreas de maior interesse do usuário são colocadas, em uma ordem de visualização, mais próximas do que as salas cujos conteúdos não são de interesse. O modelo inicial de usuário, baseado na coleta explícita de dados, é usado para a organização inicial do ambiente. À medida que o usuário interage com o ambiente, seu modelo é atualizado e alterações na configuração inicial do ambiente são feitas.

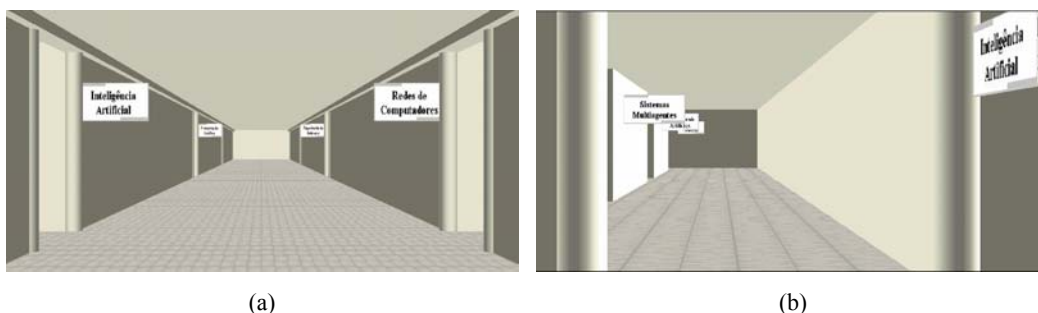


Figura 2. (a) Salas do ambiente; (b) sub-salas do ambiente.

Em relação a manipulação de conteúdos no ambiente, o modelo do provedor é utilizado para indicar a área (Inteligência Artificial, por exemplo) a que pertence o conteúdo, sendo a categoria do conteúdo definida com base nas sub-áreas correspondentes (Redes Neurais Artificiais, por exemplo), ou seja, a sub-sala onde o conteúdo deve ser inserido.

A categoria do conteúdo é definida a partir do processo de categorização automático. Deste modo, a disposição espacial dos conteúdos é realizada automaticamente pelo gerador de ambientes, com base na sua categoria. Para o processo de treinamento e validação do classificador, foram coletados trinta exemplos de artigos científicos, para cada sub-área; foi realizado o pré-processamento dos exemplos; e foi realizada a geração dos scripts submetidos à ferramenta C4.5, responsável pela geração das ADs. Para cada sub-área foi associado um categorizador binário, a partir do qual um conteúdo é assinalado como pertencente ou não a sub-área correspondente. Deste modo, para cada sub-área, as regras obtidas da AD foram convertidas para regras do tipo IF-THEN, associadas ao módulo gerenciador de conteúdo.

Em relação a comunicação entre o agente e os usuários, eles interagem através de um diálogo em linguagem pseudo-natural, conforme comentado na seção 2.1. Como forma de simplificar a comunicação, o usuário seleciona as requisições ao agente em uma lista de opções. As respostas do agente são apresentadas em uma interface textual e sintetizadas para voz. As Figuras 3 (a), (b), (c) e (d) ilustram, respectivamente, uma solicitação do usuário para a localização de determinada área e a movimentação do agente, juntamente com um mapa 2D do ambiente, usado como um recurso adicional para a navegação; a localização de uma área pelo agente; a localização de uma sub-área pelo agente; e a visualização de conteúdos pelo usuário.

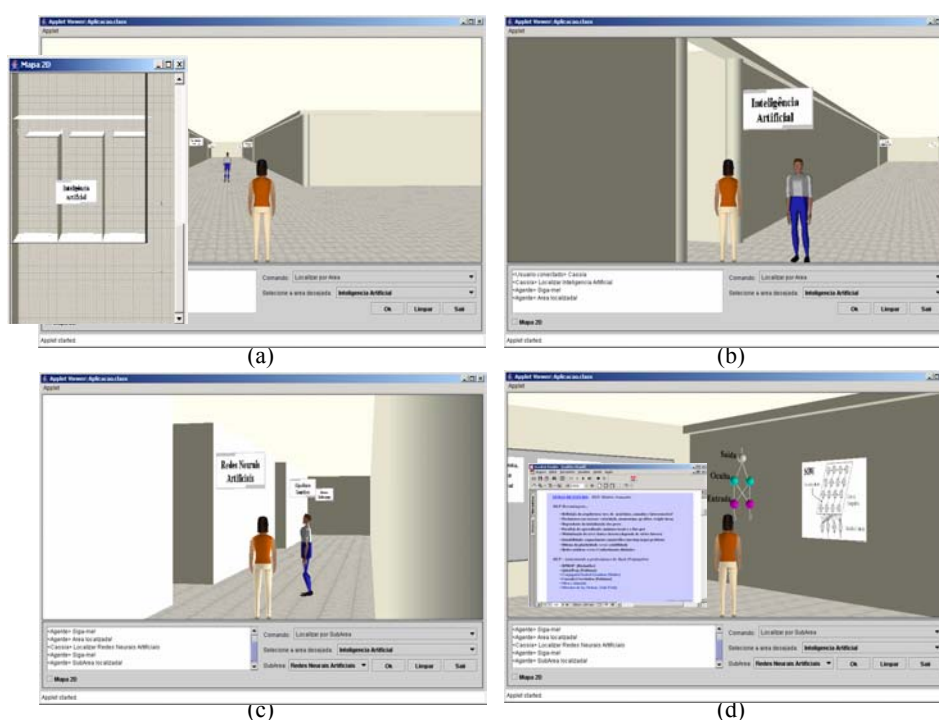


Figura 3. (a) Requisição do usuário; (b) localização de uma área pelo agente; (c) localização de uma sub-área; (d) visualização de conteúdos pelo usuário.

4. Considerações Finais

A arquitetura AdapTIVE, apresentada neste artigo, é uma das principais contribuições da dissertação desenvolvida. Esta arquitetura combina, em um espaço 3D, o uso de modelos de usuários, a aplicação de modelos de conteúdos e a atuação de agentes

inteligentes como assistentes dos usuários [Santos and Osório, 2004a]. Grande parte dos esforços em AVIs não prevê a combinação destes componentes, sendo abordado, geralmente, apenas um sub-conjunto. Apesar das abordagens propostas (técnicas de aprendizado de máquina em categorização de textos, regras e fatores de certeza) serem adotadas em diversas aplicações, estas são ainda muito pouco exploradas em AVIs, sugerindo uma interessante aplicação das mesmas neste contexto. Um outro aspecto importante abordado neste trabalho corresponde à aquisição de características de usuários em um ambiente 3D. Grande parte dos trabalhos relacionados à aquisição de modelos e construção de ambientes que se adaptam a estes modelos está concentrada em interfaces 2D. Na dissertação foi proposta e implementada uma possível forma de interpretar a interação do usuário em um ambiente 3D, a partir da quantificação do grau de interesse do mesmo pelas áreas contempladas no ambiente, baseada na coleta de evidências (solicitação, navegação e acesso) e uso de regras e fatores de certeza. Considerando que o ambiente integra áreas que ainda apresentam diversas questões em aberto, o resultado prático da dissertação foi um protótipo, desenvolvido para validar a arquitetura proposta. O protótipo consistiu em um ambiente de apoio a Educação a Distância (EaD), utilizado para a manter e organizar material didático, sendo dada ênfase às questões relacionadas à adaptabilidade do ambiente. No entanto, a arquitetura também vem sendo adotada em uma aplicação de comércio eletrônico.

Referências

- Abbattista, F.; Dегemmis, M; Fanizzi, N.; Licchelli, O. Lops, P.; Semeraro, G.; Zambetta, F. (2002) "Learning User Profile for Content-Bases Filtering in e-Commerce". Workshop Apprendimento Automatico: Metodi e Applicazioni, Siena, Settembre.
- Aylett, R. and Luck, M. (2000) "Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent Virtual Environments". Applied Artificial Intelligence, 14 (1), 3-32.
- Billsus, D. and Pazzani, M. (1999) "A Hybrid User Model for News Story Classification". Proceedings of the 7th International Conference on User Modeling, Banff, Canada, 99-108.
- Brusilovsky, P.: Adaptive Hypermedia. (2001) "User Modeling and User-Adapted Interaction". 11, 87-110, Kluwer Academic Publishers.
- Chittaro, L. and Ranon, R.(2002) "Dynamic Generation of Personalized VRML Content: A General Approach and its Application to 3D E-Commerce". Proceedings of 7th International Conference on 3D Web Technology, USA, February.
- Chittaro, R.; Ranon, R.; Ieronutti, L. (2003) "Guiding Visitors of Web3D Worlds through Automatically Generated Tours". Proceedings of the 8th International Conference on 3D Web Technology, ACM Press, New York, March.
- Fink, J. and Kobsa, A.(2000) "A Review and Analysis of Commercial User Modeling Server for Personalization on the World Wide Web". User Modeling and User Adapted Interaction, 10(3-4), 209-249.
- Giarratano, J. and Riley, G. Expert Systems: Principles and Programming. 3 ed., PWS, Boston, 1998.
- Haykin, S. Redes Neurais: Princípios e Prática. 2 ed. Bookman, 2001.
- Kobsa, A. (1995) "Supporting User Interfaces for All through User Modeling". Proceedings HCI International, Japan.

- Lieberman, H. (1995) "Letizia: An Agent That Assist Web Browsing". International Joint Conference on Artificial Intelligence, Montreal, 924-929.
- Milde, J. (2000) "The intractable Agent Lokutor". Workshop on Communicative Agents in Intelligent Virtual Environments, Spain.
- Musse, S. (2000) "Human Crowd Modeling with Various Levels of Behavior Control". Lausanne: EPFL, 164 p. (PhD Thesis).
- Nijholt, A. and Hulstijn, J. (2000) "Multimodal Interactions with Agents in Virtual Worlds". In: Kasabov, N. (ed.): Future Directions for Intelligent Information Systems and Information Science, Physica-Verlag: Studies in Fuzziness and Soft Computing.
- Nikolopoulos, C. Expert Systems – Introduction to First and Second Generation and Hybrid Knowledge Based Systems. Eds: Marcel Dekker, New York, 1997.
- Panayiotopoulos, T.; Zacharis, N.; Vosinakis, S.(1999) "Intelligent Guidance in a Virtual University". Advances in Intelligent Systems – Concepts, Tools and Applications, 33-42, Kluwer Academic Press.
- Papatheodorou, C.(2001) "Machine Learning in User Modeling". Machine Learning and Applications. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer Verlag.
- Pazzani, M. and Billsus, D. (1997) "Learning and Revising User Profiles: The identification on Interesting Web Sites". Machine Learning, 27(3), 313-331.
- Perkowitz, M. and Etzioni, O. (1998) "Adaptive Web Sites: Automatically synthesizing Web pages". Fifteen National Conference in Artificial Intelligence, Wisconsin.
- Quinlan, R. C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan Kaufmann, California, 1993.
- Rickel, J. and Johnson, W. (1997) "Integrating Pedagogical Capabilities in a Virtual Environment Agent". Proceedings of the 1st International Conference on Autonomous Agents, ACM Press, February.
- Rickel, J. and Johnson, W. Task-Oriented Collaboration with Embodied Agents in Virtual Worlds. In J. Cassell, J. Sullivan, S. Prevost, and E. Churchill (Eds.), Embodied Conversational Agents, 95-122. Boston: MIT Press, 2000.
- Rickel, J.; Marsella, S.; Gratch, J.; Hill, R.; Traum, D.; Swartout W. (2002) "Toward a New Generation of Virtual Humans for Interactive Experiences". IEEE Intelligent Systems, 17(4).
- Santos, C. (2004) "Um Ambiente Virtual Inteligente e Adaptativo baseado em Modelos de Usuário e Conteúdo". Unisinos, 131p. (Dissertação de Mestrado).
- Santos, C. and Osório, F. (2003) "Técnicas de Aprendizagem de Máquina no Processo de Categorização de Textos". Relatório Interno de Pesquisa (<http://www.inf.unisinos.br/~cassiats/mestrado>).
- Santos, C. and Osório, F. (2004) "An Intelligent and Adaptive Virtual Environment and its Application in Distance Learning". Advanced Visual Interfaces, Italy, May, ACM Press.
- Santos, C. and Osório, F. (2004a) "Integrating Intelligent Agents, User Models and Automatic Content Categorization in a Virtual Environment". Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Alagoas, Brazil, September, 2004 (to appear).
- Sebastiani, F. (2002) "Machine learning in automated text categorization". ACM Computing Surveys, 34(1), 1-47.
- Self, J. (1999) "The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITSs care, precisely". International Journal of Artificial Intelligence in Education, 10, 350-364.