

Ambientes Virtuais Interativos e Inteligentes: Fundamentos, Implementação e Aplicações Práticas

Fernando S. Osório, Soraia R. Musse, Cássia T. dos Santos, Farlei Heinen,
Adriana Braun e André T. da Silva

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos
PIPCA - Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada. São Leopoldo, RS
{ osorio, soraiarm, cassiats, farlei, adrianab, atavares } @ exatas.unisinos.br

Abstract

This work presents new trends, methods and applications of Virtual Environments endowed with information in order to provide to the user an easily and imersive interaction. We present concepts related to environment modeling, visualization and user interaction, mainly focused on some important proprieties: dynamic entities, adaptive environment, intelligent agents and behavioral models. Intelligent and Interactive Virtual Environments (IIVE) have been employed in many applications such as: e-commerce, e-learning, games and digital entertainments, and also animation and simulation of real situations (robotics and crowd simulation). We conclude this tutorial with further discussion about some applications.

Resumo

Este texto apresenta as novas tendências, técnicas e aplicações de Ambientes Virtuais dotados de recursos que permitam uma melhor interação e imersão do usuário. São apresentados conceitos relativos à modelagem do ambiente, visualização e interação com o usuário, focando-se em algumas importantes propriedades: elementos dinâmicos, adaptação do ambiente, agentes inteligentes e modelos comportamentais. Os Ambientes Virtuais Interativos e Inteligentes (AVII) têm sido empregados em diversos tipos de aplicações, que serão discutidas: aplicações de e-commerce, e-learning, jogos, entretenimento, e desenvolvimento de simuladores que reproduzam situações reais (aplicados em robótica e simulação de multidões). Concluímos apresentando exemplos de algumas destas aplicações.

6.1. Introdução

Os Ambientes Virtuais (AVs) tornaram-se uma alternativa atraente para o desenvolvimento de interfaces mais realistas e interessantes para o usuário, a partir da exploração das técnicas de Realidade Virtual (RV). Atualmente, as pesquisas em Inteligência Artificial (IA), Vida Artificial (VA), Animação Comportamental e AVs têm sugerido uma integração entre estas áreas. O objetivo é a criação de ambientes virtuais que explorem o uso de entidades com certo grau de inteligência e os efetivos meios de suas representações gráficas, juntamente com diferentes formas de interações, provendo maior dinamicidade, realismo e usabilidade aos ambientes. De acordo com Aylett and Luck (2000) e Aylett and Cavazza (2001), os ambientes que exploram tal integração são denominados Ambientes Virtuais Inteligentes (AVIs). Sob uma perspectiva geral, os AVIs combinam técnicas de IA e VA com tecnologias gráficas 3D, derivadas da área de Computação Gráfica (CG) e de Realidade Virtual (RV).

Conforme Aylett and Luck (2000), diversos fatores têm motivado esta integração. Primeiro, o aumento do poder computacional tem permitido não apenas a exploração de um alto grau de realismo visual, mas a adição de uma camada de inteligência aos ambientes. Segundo, a disponibilidade de bibliotecas e padrões gráficos 3D, tais como OpenGL, Java3D, VRML (Virtual Reality Modeling Language) e, mais recentemente, o X3D, tem promovido o desenvolvimento de ambientes 3D. Terceiro, as técnicas de IA, tais como as de agentes inteligentes e de processamento de linguagem natural, têm amadurecido em paralelo, podendo ser exploradas nas interações entre os usuários e o ambiente.

Sob a perspectiva da IA, os pesquisadores estão passando a considerar os AVs como uma ferramenta para a exploração de suas técnicas, tais como a criação de agentes com diferentes níveis de autonomia e comportamentos. Por outro lado, as pesquisas em VA estão concentradas, principalmente, na criação de AVs que permitam a simulação de comportamentos físicos de seres vivos, conforme as regras que regem os seus comportamentos no mundo real. Os pesquisadores da CG, por sua vez, estão interessados em tornar os seus ambientes mais realistas e dinâmicos, agregando comportamentos inteligentes aos seus componentes. Isto tem envolvido a exploração de humanos virtuais e ambientes compostos por objetos inteligentes.

Deste modo, a área de AVIs abrange diferentes grupos de pesquisa concentrados em diferentes aspectos gráficos dos ambientes e da inteligência embutida nestes. Uma conceituação genérica para os AVIs é proposta por Anastassakis et al. (2001). Segundo estes pesquisadores, um AVI pode ser definido como um ambiente virtual semelhante a um mundo real, habitado por entidades autônomas inteligentes exibindo uma variedade de comportamentos. Estas entidades podem ser objetos estáticos simples ou dinâmicos, representações virtuais de formas de vida (humanos ou animais), avatares (que representam usuários no ambiente), entre outros.

De acordo com Rickel et al. (2002), Gratch et al. (2002) e Anastassakis et al. (2001), as aplicações potenciais destes ambientes são consideráveis, podendo ser empregados em uma variedade de áreas, especialmente relacionadas com a simulação, o entretenimento e a educação.

Em simulação, ambientes de diferentes tipos (espaços urbanos abertos ou interiores, habitados por humanos virtuais) podem ser aplicados, por exemplo, em projetos arquitetônicos, no controle de tráfego de pessoas ou carros. Além disso, as simulações de humanos virtuais (Musse, 2000) em situações de emergência, e de comportamentos de grupos de animais (Reynolds, 1987) têm sido exploradas. Na área de entretenimento, os jogos (Grand and Cliff, 1998), com cenários que podem ser adaptados conforme o andamento do jogo, e teatros (Nijholt and Hulstijn, 2000), museus (Donikian, 2004) e lojas virtuais (Chittaro and Ranon, 2002), onde o usuário pode navegar, interagir com outros usuários e com assistentes virtuais, podem ser citados como aplicações potenciais. Além disso, aplicações tais como as histórias interativas (Cavazza et al. 2001), onde o usuário é um participante ativo, podendo interferir no curso das mesmas, têm surgido como uma nova forma de entretenimento. Na área educacional, a incorporação de personagens tutores (Rickel and Johnson, 1997) e a exploração de interações multi-modais, juntamente com sofisticadas técnicas de representações da informação podem prover experiências de aprendizado mais agradáveis e efetivas.

Este texto apresenta as novas tendências, técnicas e aplicações de Ambientes Virtuais dotados de recursos que permitam uma melhor interação e imersão do usuário. São apresentados conceitos relativos à modelagem do ambiente, visualização e interação com o usuário, focando-se em algumas importantes propriedades: elementos dinâmicos, adaptação do ambiente, agentes inteligentes e modelos comportamentais. Os Ambientes Virtuais Interativos e Inteligentes (AVII) têm sido empregados em diversos tipos de aplicações, que serão discutidas: aplicações de e-commerce, e-learning, jogos, entretenimento, e desenvolvimento de simuladores que reproduzam situações reais (aplicados em robótica e simulação de multidões). Concluímos apresentando exemplos de algumas destas aplicações.

O texto está organizado como segue. Na seção 6.2, apresentamos algumas questões de modelagem e visualização de ambientes virtuais geométricos 3D. Na seção 6.3, discute-se o que muda quando se utilizam os conceitos de ambientes virtuais inteligentes ao invés de ambientes puramente geométricos. Na seção 6.4 descrevem-se modelos comportamentais utilizados em jogos e simulações em tempo-real enquanto na seção 6.5 apresentam-se diferentes aplicações. A seção 6.6 descreve com detalhes estudos de caso relacionados com as pesquisas desenvolvidas pelos autores e a seção 6.7, finaliza com conclusões.

6.2. Ambientes Virtuais 3D: Construção, Navegação e Interação

Realidade Virtual (RV) é uma técnica avançada de interface através da qual o usuário pode imergir, navegar e interagir em um ambiente sintético tridimensional, de forma natural e intuitiva, utilizando canais multi-sensoriais. Nesta seção serão expostos os conceitos iniciais sobre Realidade Virtual (RV), a partir de uma visão abrangente da área. Serão apresentadas técnicas de modelagem e visualização de ambientes tridimensionais; ambientes estes que exploram a interação com o usuário, através de navegação “não imersiva” ou pelo uso de dispositivos de imersão.

6.2.1 Modelagem de Ambientes 3D

A modelagem de ambientes virtuais 3D refere-se à descrição dos objetos que representam o ambiente, em relação aos aspectos da geometria e forma dos mesmos. Dentre as técnicas aplicadas à modelagem, destacam-se as representações geométricas, matriciais e topológicas (Figura 6.1).

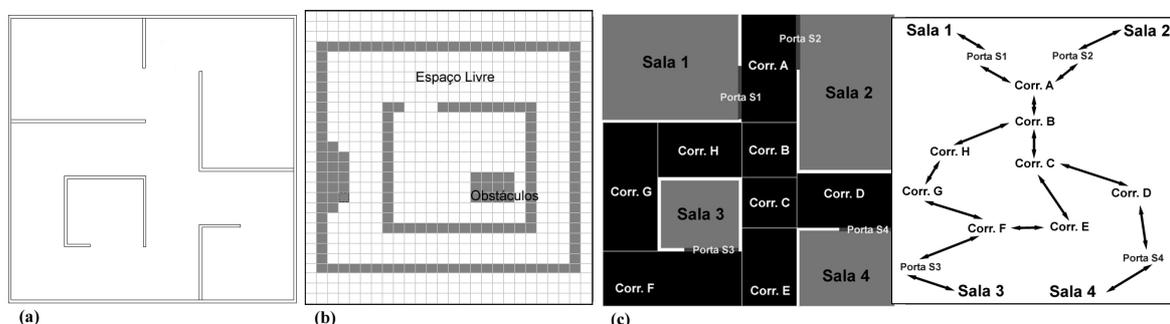


Figura 6.1. Mapas: Geométrico (a); Baseado em Grade (b); Topológico-Semântico (c); (Heinen 2002a)

O modelo de ambiente geométrico é um tipo de representação espacial (2D ou 3D), na qual o ambiente pode ser descrito por segmentos de reta ou polígonos, por exemplo. Esta abordagem permite uma representação consistente que pode ser facilmente manipulada e apresentada por computadores, além disso ela é de fácil compreensão para o usuário. Neste tipo de modelagem, um conjunto de primitivas geométricas é fornecido pelo usuário, para se construir uma abstração de alto nível do ambiente, onde é possível a partir de uma descrição 2D (e.g. planta baixa de um prédio) se obter uma descrição 3D, dando “volume” e “altura” aos objetos (e.g. paredes).

A abordagem utilizando matrizes (grades de ocupação), tais como propostas por Elfes (1987, 1989), Borenstein e Koren (1991), representam o ambiente utilizando uma matriz de tamanho fixo, usualmente em 2D. Também é possível descrever a ocupação espacial por decomposição de células (Mortenson 1985) no espaço 2D (*quadtrees*) ou 3D (*octrees*). Cada célula da grade pode, por exemplo, indicar a presença de um obstáculo na região correspondente do ambiente. As técnicas que utilizam matrizes, também chamadas de matrizes de ocupação, são simples de se construir, representar e manter. No entanto, as matrizes consomem muita memória e requerem muito tempo para atualizações globais. Isto ocorre pois a resolução da matriz deve ser precisa o suficiente para capturar todos os detalhes importantes do ambiente.

As representações topológicas baseiam-se em descrições topológicas do ambiente, representando o ambiente como uma coleção de pontos de referência interconectados (Kuiper e Byun 91). Esta representação toma a forma de grafos, onde os nodos são os pontos de referência (ou características) e os arcos indicam a relação entre estes pontos. O paradigma topológico é apoiado pelas evidências da ciência cognitiva que indicam que os seres humanos se utilizam desta abordagem para representar mentalmente o espaço e as trajetórias definidas neste espaço. Assim, este paradigma é considerado intuitivo para os humanos. Entretanto, ele não se adapta muito bem em implementações com sistemas que utilizam dados métricos.

As técnicas de representação comentadas acima, são adequadas para a criação de modelos bidimensionais, assim como os modelos tridimensionais também podem ser

adotados. Neste último caso, o modelo geométrico do ambiente pode ser construído em diversos softwares disponíveis para modelagem tridimensional. Dentre os principais softwares utilizados para a modelagem de ambientes, podem ser citados: 3D Studio MAX¹, Maya², Wings3D³, Internet Space Builder (ISB)⁴ e Internet Scene Assembler (ISA)⁴. As ferramentas 3DS MAX, Maya e Wings3D são atualmente as ferramentas mais utilizadas para criação de modelos de ambientes 3D e geração de personagens animados. São consideradas as soluções mais completas do mercado atual para a modelagem e animação de personagens, contendo uma quantidade considerável de recursos para suporte a estas atividades. Ambas suportam a exportação da estrutura modelada em diversos formatos, tais como VRML (Virtual Reality Modeling Language – www.web3d.org) e 3DS. O formato de arquivo .3DS, bastante conhecido na área de computação gráfica, foi originalmente criado pela Autodesk para ser utilizado no software 3D Studio. Ele permite que sejam definidos objetos tridimensionais, materiais, texturas e iluminação. No arquivo .3DS os objetos são modelados utilizando-se somente faces triangulares, o que simplifica o armazenamento em memória e a visualização utilizando OpenGL.

O ISB oferece um espaço para a construção de objetos 3D, disponibilizando primitivas para a criação de objetos 3D básicos (cones, cubos, esferas, outros), os quais podem ser rotacionados, escalados, transladados ou sobrepostos, facilitando a construção de objetos mais complexos. Além disso, esta ferramenta possui uma coleção de texturas e imagens que podem ser aplicadas aos objetos. O ISA, por sua vez, é utilizado para animar objetos, disponibilizando rotinas de interações e animações pré-determinadas. Além do uso de softwares para a modelagem de ambientes tridimensionais, a geração automática de representações 3D tem sido proposta, adotando-se diferentes abordagens.

Um modelo parametrizado para a geração semi-automática de cidades virtuais baseada em mapas de cidades reais é apresentado por Marson et al. (2003). Neste modelo, tanto descrições geométricas (VRML) quanto semânticas (XML) das cidades são consideradas. Os parâmetros de entrada dizem respeito aos dados populacionais, tais como densidade habitacional, classe social e tipo de zona, entre outros. A cidade pode não ser completamente fictícia, já que o modelo permite a entrada de dados reais, como mapas 2D de cidades existentes, que fornecem a geometria das quadras. O principal objetivo é prover uma ferramenta que possibilite a geração rápida de cidades virtuais complexas incluindo informações semânticas que permitem o desenvolvimento de simulações comportamentais, envolvendo agentes sintéticos.

Outra possibilidade consiste na utilização de descrições em linguagem natural para a criação de cenas gráficas. Um exemplo de uso desta abordagem é apresentado por Clay e Wilhelms (1996), que propuseram uma interface baseada em linguagem natural para a construção de cenas. No sistema, descrições em linguagem natural substituem interfaces tradicionais para a construção de uma cena, a partir da descrição dos objetos 3D. Para a descrição das cenas, foram utilizadas relações tais como “em”, “sobre”, “sob”

¹ 3Dstudio Max - <http://www.discreet.com/3dsmax/>

² Maya - <http://www.alias.com/>

³ Wings3D – <http://www.wings3d.com/>

⁴ ISB / ISA – <http://www.parallelgraphics.com/>

e certos parâmetros da cena, tais como a posição do visualizador e a dimensão dos objetos, para determinar o posicionamento dos mesmos no ambiente. Os comandos em linguagem natural podem ser usados na criação de cenas gráficas complexas e na determinação de restrições para o posicionamento dos objetos.

No ambiente AdapTIVE (Santos 2004), a estrutura tridimensional do ambiente, formada por um conjunto de salas e sub-salas, é construída automaticamente através de uma aplicação implementada com a API Java3D. O usuário define o número de salas e suas dimensões e a aplicação gera a estrutura 3D correspondente, no formato VRML.

6.2.2 Visualização

A visualização de ambientes tridimensionais envolve o uso de ferramentas e técnicas para a representação dos mesmos computacionalmente. Dentre as principais ferramentas de suporte a esta atividade, podem ser citadas a OpenGL⁵, DirectX⁶ e API Java3D⁷. Estas bibliotecas gráficas oferecem um conjunto de rotinas, suportadas por linguagens de programação tais como C, C++ e Java, utilizadas para a visualização de objetos 3D e a construção de ambientes virtuais.

OpenGL (Open Graphics Library) (Woo 1998) é atualmente o padrão internacional para o desenvolvimento de aplicações gráficas tridimensionais, e é implementado em hardware na maioria das placas gráficas aceleradoras. A biblioteca OpenGL permite que se utilizem todos os recursos de hardware disponível nos computadores, aumentando sensivelmente a performance da simulação. Apesar de ser uma biblioteca bastante poderosa sua programação é relativamente simples.

DirectX é uma API para a construção de aplicações multimídia, disponibilizada pela Microsoft. Esta API provê uma plataforma de alto-nível para acesso aos componentes de hardware, tais como placas aceleradoras gráficas. Ele controla funções de baixo nível, incluindo suporte para dispositivos de entrada tais como teclado, mouse e joysticks, bem como controle de saída de som.

A API Java 3D provê um conjunto de interfaces orientadas a objeto que compõe um modelo de programação em alto-nível para a construção, renderização e controle de objetos 3D. A partir desta API, objetos gráficos podem ser incorporados em aplicações e *applets* baseados na tecnologia Java. Além disso, esta API suporta a importação de arquivos nos formatos VRML e 3DS. Esta API está baseada nos padrões OpenGL e DirectX.

6.2.3 Navegação e Interação

A navegação e interação são propriedades importantes em um ambiente virtual. A navegação corresponde à habilidade de se movimentar através de um ambiente, explorando as características deste, sendo que este deslocamento deve respeitar um comportamento adequado em relação ao tipo de elemento representado: evitar a colisão contra paredes e obstáculos, simular o movimento de forma adequada dos objetos

⁵ OpenGL – <http://www.opengl.org>

⁶ DirectX - <http://www.Microsoft.com/windows/directx/>

⁷ Java 3D – <http://java.sun.com/products/java-media/3D/>

(incluindo a sua cinemática e dinâmica em modelos simulados) e animar os entes de forma adequada (movimentação das pessoas, animais e outros seres). Estes itens serão discutidos posteriormente ao longo deste texto, pois estão intimamente ligados ao conceito de criação de um Ambiente Virtual Inteligente. Em relação à interação, esta propriedade corresponde à possibilidade de evitar choque, selecionar e mover objetos na cena gráfica, e mesmo pode envolver ainda, a troca de informações, comunicação, síntese e reconhecimento de voz e exploração de gestos e (interações multi-modais).

6.3. Dos Ambientes Virtuais aos Ambientes Virtuais Inteligentes

O paradigma 3D é útil por oferecer a possibilidade de representar a informação de um modo realístico, organizando-a de uma maneira espacial. Deste modo, obtém-se maior intuição na visualização da informação por ser mais natural ao ser humano. Por isto, quando tratamos de Ambientes Virtuais (AV), estamos nos referindo a ambientes 3D.

Fazer simulação de ambientes tridimensionais facilita a compreensão do comportamento humano e tem se revelado um desafio permanente ao próprio homem em função de sua complexidade e diversidade. Muitos trabalhos têm apresentado diferentes meios de fazer animações em ambientes virtuais, a fim de aproximar ao máximo este ambiente de um espaço real, sendo utilizados nas mais variadas aplicações, como simulação, jogos, *e-learning* e *e-commerce*.

Esta seção aborda a evolução dos ambientes virtuais aos ambientes virtuais inteligentes, apresentando a motivação para a agregação de “inteligência” aos ambientes virtuais convencionais. Serão apresentados os ambientes com agentes e objetos inteligentes e que consideram um modelo de usuário no processo de adaptação e organização destes ambientes.

6.3.2 Ambientes Inteligentes

Um Ambiente Virtual Inteligente (AVI) é um ambiente virtual semelhante a um mundo real, habitado por entidades autônomas inteligentes (representações virtuais de formas de vida). Muitos trabalhos têm apresentado diferentes meios de fazer animações com humanos virtuais, a fim de aproximar ao máximo o agente virtual de um comportamento humano natural. Para isto, é necessário que o agente seja capaz de interagir com o ambiente, com os objetos contidos nele e com os outros atores. Para os agentes se comportarem da mesma maneira que as pessoas reais, eles devem ser capazes de, baseados em sua própria visão, extrair informações semânticas do modelo geométrico em que ele está inserido.

Existem alguns trabalhos em que os agentes detêm toda informação que transita entre as entidades da simulação. Eles devem ser providos de habilidades que permitem a aplicação de atividades complexas como conhecimento de formas de objetos, aprendizado de como manipular com objetos e com o ambiente. Neste caso, é computacionalmente caro simular um número muito grande de agentes, não sendo este método adequado para processamento em tempo real como jogos. As características individuais e coletivas dos agentes produzem uma grande variedade de comportamentos, tornando sua modelagem complexa e requerendo uma imensa quantidade de atributos a serem considerados para que se consiga uma descrição autêntica de suas ações, emoções e interações com o meio e com os demais.

Os AVIs retiram parte da carga de informação e processamento dos agentes, de maneira que esses possam ser mais simples, e assim, seja possível a manipulação de um maior número de agentes. Para isto, a idéia principal é a construção de ambientes virtuais inteligentes. Desta forma, um agente virtual pode “pedir” informações ao ambiente inteligente como posição de um determinado lugar, o melhor caminho para se chegar nele, a semântica a respeito do mesmo e outras informações necessárias para o seu desenvolvimento e evolução no ambiente virtual.

Thomas e Donikian (2000) apresentam um modelo de ambiente urbano virtual usando estruturas e informações apropriadas para animação comportamental. Foi projetado para este trabalho um modelador de cidade que permite a produção automática de ambientes urbanos complexos para realizar-se animações comportamentais. O principal objetivo é simular vida em ruas e calçadas e não dentro de prédios e locais fechados. O principal interesse é buscar informações das construções baseado no seu exterior, definindo suas funcionalidades (se são casas, lojas, etc) e os dados de entrada e saída do fluxo dos pedestres dependendo da hora do dia.

Farenc (1999) apresenta a criação de um ambiente com informações, dedicado à simulação de vida urbana. São propostos métodos e ferramentas para criar e prover a informação necessária para animação de humanos virtuais em uma cidade usando um ambiente informado. Neste ambiente, são fornecidas informações geométricas e também noções semânticas do ambiente a ser simulado, permitindo assim, uma simulação mais realística de comportamentos humanos. Desta forma, humanos virtuais podem interagir com um certo conhecimento do ambiente.

Musse (2000) propôs o ViCrowd: um sistema de animação genérico de multidões que possam ser guiadas como se fossem um único personagem e capaz de simular um grande número de agentes, permitindo a interação tanto entre os agentes quanto entre eles e o ambiente informado. O principal objetivo do ViCrowd é simular grupos de agentes com diferentes níveis de autonomia (de guiados a autônomos). O foco principal para a simulação de multidões foi:

- Povoar o ambiente virtual fornecendo ao animador uma maneira fácil de construir as multidões;
- Descrever o movimento da população a fim de fazer a evolução do fluxo da multidão e resolver problemas relacionados a isto;
- Fazer a interação com a multidão virtual durante a simulação;
- Prover inteligência e autonomia para a multidão criando a possibilidade de ter agentes auto-animados e comportamentos não determinísticos;

Em nossas pesquisas, no projeto HUMUS (Ferreira et al 2002) e mais recentemente no projeto de simulação de emergências em cooperação com a Petrobras (Musse, 2003; Barros, 2004), as informações do ambiente são obtidas semi-automaticamente. É utilizado um módulo para extrair estes dados a partir do modelo 3D onde os agentes serão inseridos. Estes dados serão utilizados posteriormente para animação dos humanos virtuais.

Este módulo é responsável por prover ao usuário uma ferramenta de edição de conhecimento do ambiente. Primeiramente, o modelo geométrico é lido e alguns

elementos são reconhecidos automaticamente (ruas, casas e calçadas) e uma árvore hierárquica do ambiente é construída a partir deste modelo lido. O usuário pode então identificar os objetos e definir seus atributos (se é um obstáculo ou área de risco, por exemplo). Também são identificados todos os locais de presença no ambiente (denominados de *place*), ou seja, os locais de interesse aos agentes da simulação (casa do João, restaurante, escola).

Neste módulo também são gerados caminhos livres de obstáculo entre os *places*. Os caminhos são armazenados em um grafo, contendo apenas arestas livres de obstáculos (grafo de visibilidade), que serão utilizados posteriormente para a movimentação dos agentes. Depois de gerados os caminhos possíveis e identificados os objetos e *places*, o ambiente exporta as informações necessárias à simulação para uma base de dados, contendo: *Places*, informações sobre objetos e sua semântica (construção, calçada, obstáculo) e o grafo com os caminhos possíveis pré-calculados.

Assim, transfere-se todo o conhecimento que os agentes deveriam recuperar pela interação com o ambiente (baseado em métodos mais custosos computacionalmente, por exemplo visão sintética), para uma base de dados, tornando os agentes mais simples e possibilitando a simulação de um maior número de humanos virtuais. Isto porque anteriormente foram geradas e armazenadas algumas das informações necessárias à simulação, desonerando a carga de cada agente. O módulo responsável pela base de dados faz a interface entre o ambiente e a simulação. Assim, quando um agente necessitar alguma informação (posição de um determinado lugar, o melhor caminho para se chegar neste, a semântica a respeito do lugar ou caminho e outros dados necessários para a sua evolução no ambiente virtual), ele “perguntará” para o módulo responsável pela base de dados esta informação (que foi gerada anteriormente), sem a necessidade do agente ter de fazer um reconhecimento do modelo geométrico 3D.

No Simulador de Emergências, também são armazenados na mesma base de dados o perfil psicológico dos agentes (líder, dependente, pessoa normal), período do dia da simulação, possíveis acidentes que poderão ocorrer, locais de refúgio e distribuições populacionais.

6.3.2.1 Organização de Ambientes Virtuais Inteligentes

Um aspecto importante em um ambiente virtual diz respeito à organização de seus componentes no espaço tridimensional. Tal organização exige, em muitos casos, a disposição espacial dos componentes, de acordo com algum critério semântico. Por exemplo, em uma loja virtual é interessante o agrupamento dos produtos conforme a seção a que pertencem (eletrônicos, bazar, outros) ou, em um ambiente de apoio à Educação a Distância (EaD), é necessário agrupar espacialmente os conteúdos conforme a área a que pertencem. Desta forma, o uso de ferramentas que auxiliem na organização espacial das informações no ambiente se faz necessário.

Neste contexto, meta-dados dos componentes (também referenciados como modelos de conteúdos), podem ser adotados na organização destes componentes no ambiente. Estes meta-dados contêm informações que descrevem o componente correspondente, tais como categoria, palavras-chave, outras. Na definição dos meta-dados, atuam os especialistas do domínio. Uma abordagem que pode ser utilizada na automatização da aquisição de meta-dados consiste na aplicação de técnicas de

aprendizado de máquina na categorização de textos. Este processo pode ser adotado na categorização de conteúdos textuais ou na obtenção de meta-dados de componentes não-textuais (tais como imagens, vídeos e objetos 3D), a partir de descrição textuais em linguagem natural destes componentes. As técnicas de aprendizado de máquina vêm sendo largamente aplicadas na organização e recuperação de informações, disponibilizadas em interfaces bidimensionais. No entanto, uma interessante aplicação para a categorização automática consiste na utilização deste processo na organização espacial de informações em AVs. Tal abordagem é ainda pouco explorada em trabalhos relacionados aos AV.

Uma proposta neste sentido é apresentada por Santos e Osório (2003b), onde é adotado o uso de categorizadores automáticos de conteúdos para a criação de modelos de conteúdos, utilizados na organização espacial dos conteúdos em um ambiente virtual (a partir da categoria de um conteúdo, a posição espacial que o mesmo ocupará no ambiente é automaticamente definida).

6.3.2.2 Adaptação de Ambientes Virtuais Inteligentes

Em ambientes onde as interações com o usuário recebem especial atenção, um aspecto a ser considerado corresponde a adaptação da apresentação ou da estrutura do ambiente, conforme as preferências e interesses dos usuários. Estas informações são comumente referenciadas como modelos de usuário. Conforme Kobsa (1995), um modelo de usuário é uma coleção de informações e suposições sobre usuários individuais ou sobre grupos de usuários, necessárias para que o sistema adapte diversos aspectos de suas funcionalidades e interface. A adoção de um modelo de usuário tem tido grande impacto no desenvolvimento de sistemas de filtro de informação, comércio eletrônico, sistemas de aprendizagem e interfaces adaptativas. Estes sistemas mostraram-se mais usáveis do que os não adaptativos (Fink e Kobsa, 2000). No entanto, grande parte dos trabalhos está voltada para a adaptação de web sites tradicionais. A adaptação de conteúdo 3D é ainda pouco explorada, mas considerada promissora.

De um modo geral, o processo de modelagem de usuários envolve a coleta das informações necessárias para a elaboração do modelo e a representação das informações coletadas. Para a coleta dos dados, diversos métodos têm sido apresentados na literatura. Em geral, eles podem ser agrupados em dois conjuntos (Pazzani e Billsus, 1997; Papatheodorou, 2001): explícitos e implícitos. Os métodos explícitos coletam as informações diretamente do usuário, geralmente, através do uso de formulários. Nestes formulários, podem ser obtidas informações típicas, tais como gênero e ano de nascimento, e algumas informações específicas, tais como interesses e preferências.

Os métodos implícitos inferem informações dos usuários através do monitoramento do comportamento durante a interação com o sistema. Estes métodos compreendem, geralmente, a coleta dos dados do tipo navegacionais e transacionais, através das seguintes verificações: histórico da navegação do usuário; transações efetuadas; páginas impressas, salvas ou adicionadas à lista de favoritos; e registro das palavras-chave utilizadas em sistemas de busca. Entretanto, conforme Chittaro e Ranon (2000), diferentemente de ambientes bidimensionais, onde se assume que os conteúdos das páginas acessadas pelo usuário foram vistos por ele, um ambiente tridimensional permite traçar melhor os objetos que foram visualizados pelo usuário, através das

seguintes verificações: (a) o usuário aproximou-se o suficiente de determinado objeto; (b) a câmera (que representa a direção da visão do usuário em relação ao espaço 3D) foi posicionada na direção do objeto. Deste modo, a interpretação da interação do usuário, em um ambiente tridimensional, pode ser mais intuitiva do que em ambientes bidimensionais. Dentre os principais trabalhos que propõem o uso de modelos de usuários na adaptação de um ambiente virtual podem ser citados os desenvolvidos por Chittaro e Ranon (2000; 2002) e por Santos e Osório (2003b; 2004).

A proposta de Chittaro e Ranon (2000; 2002) consiste em utilizar um modelo do usuário na adaptação da estrutura e *layout* de uma loja virtual. Um modelo inicial é coletado a partir da aplicação de formulários, onde são requisitadas informações típicas (tais como gênero, idade, profissão e nível de escolaridade) e específicas (categorias de produtos de interesse, preferência do tamanho e estilo da loja e presença ou ausência de música na loja). Caso o usuário não informe todas os dados solicitados, são utilizados estereótipos⁸ para produzir previsões sobre os interesses e preferências. A partir do modelo inicial é estabelecido um ranking com os produtos de interesse. A atualização do modelo inicial é realizada a partir da análise do comportamento do usuário (seções da loja visitadas e produtos comprados) e com base em regras, como por exemplo: Se visitou (produto) = 0 e numeroVisitas > 3 então decrementaInteresse(produto). Com a atualização do modelo, um novo ranking dos produtos de interesse é obtido. As Figuras 6.2(a) e (b) apresentam as adaptações no ambiente.

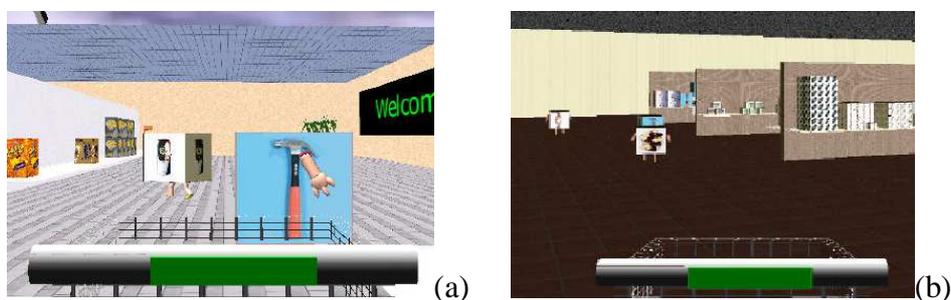


Figura 6.2. Adaptação na loja 3D (Chittaro and Ranon 2002a).

Na abordagem proposta por Santos e Osório (2003b; 2004), um ambiente virtual, chamado AdapTIVE, tem a sua estrutura e apresentação adaptadas de acordo com os interesses e as preferências dos usuários (representadas em um modelo de usuário) e conforme a manipulação (inserção, remoção ou atualização) de conteúdos no ambiente. Este ambiente encontra-se detalhado na seção 6.6 (Estudos de casos em AVII).

6.3.2.3 Objetos Inteligentes

O principal objetivo dos Objetos inteligentes (Smart Objects propostos por Kallmann e Thalmann, 1998) é prover uma ferramenta onde o designer possa modelar um objeto não somente incluindo geometria, mas também funcionalidades de ação associadas a este objeto. A grande área de aplicação para este tipo de estrutura visa simplificar a

⁸ Grupos de usuário com comportamento comum.

“inteligência” dos agentes que populam o ambiente. Assim, é possível simplificarmos a percepção bem como as regras comportamentais deles de maneira que algumas informações que deveriam estar presentes na sua estrutura possam estar definidas no ambiente. Por exemplo, se os agentes virtuais devem popular convincentemente um ambiente virtual e interagir com objetos deste mundo, eles deverão ser capazes de reconhecer a geometria dos ambientes, gerar informações simbólica sobre estes objetos, entender para que servem e de maneira podem ser usados. Esta última tarefa, no caso de animações realistas, como as que se propõe alguns sistemas de animação comportamental, diz respeito ao agente colocar a mão na maçaneta da porta para abri-la e exercer a força coerente para que esta efetivamente se abra, além disso o agente deve perceber em que posição deve se colocar para que a porta possa ser aberta e não colida com o agente ou outros agentes que podem estar próximos.

O paradigma proposto por Kallmann e Thalmann (1998) considera que durante a animação, alguns agentes em determinadas condições podem perder seu controle e o módulo de objetos inteligentes passa a controlar estes agentes, definindo o local que eles devem colocar a mão de maneira a manipular coma maçaneta que é também controlada, assim como a porta, pelo módulo de objetos inteligentes. A forma pela qual o smart object é programado leva em consideração sua geometria, a definição das partes do objeto, as animações possíveis de serem aplicadas nas partes do smart object e quando essas animações deverão ocorrer (regras).

A interação entre o módulo do smart object e do controle dos agentes virtuais pode ser feito através de uma linguagem script que define as localizações e tipo de smart objects, bem como as condições para que os agentes interajam com os objetos. Um caso desenvolvido foi a interação entre crowds (Musse 2000) e os smart objects. Assim sendo, se um agente da multidão percebe um objeto inteligente, o controle sobre as ações e movimentação deste agente é transferido para o módulo de controle do objeto. Durante a interação, o agente é desligado da multidão e não mais sujeito às ações dos comportamentos de grupo. A Figura 6.3, a esquerda, mostra o sistema de modelagem de smart objects, onde define-se as possíveis localizações da mão do agente para interação e as funcionalidades do objeto, no caso animação das gavetas. À direita, ilustra-se a interação entre objeto e agente. A Figura 6.4 mostra um outro exemplo de interação onde os agentes interagem com o elevador, modelado através do paradigma smart object.

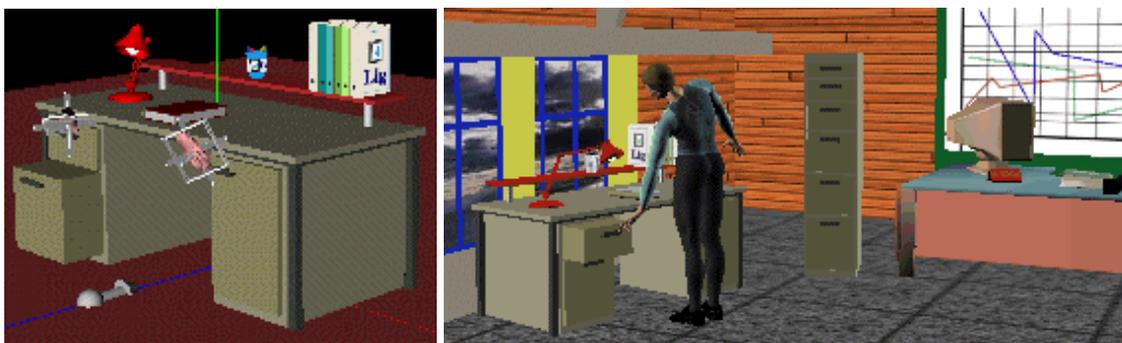


Figura 6.3. Modelador do Smart Object e Animação de agentes interagindo com objeto inteligente (Kallmann and Thalmann, 1999).



Figura 6.4. Agentes interagindo com elevador (Kallmann and Thalmann, 1999).

6.3.3 Agentes Virtuais Inteligentes

Sob uma perspectiva geral, a abordagem de agentes inteligentes vem sendo largamente discutida e adotada por diversas áreas da Ciência da Computação, tais como Inteligência Artificial (IA), Redes de Computadores (RC), Sistemas de Informação (SI) e Computação Gráfica (CG). Apesar ser uma das abordagens centrais da IA, rapidamente proliferou-se para as demais áreas. Essa característica interdisciplinar reflete o estado atual da abordagem, onde não se tem um consenso sobre a definição de um agente. Cada grupo de pesquisa segue uma determinada linha, apresentando a sua definição de acordo com os seus objetivos – Goodwin (1994); Maes (1994); Hayes-Roth (1995); Russell e Norvig (1995); Wooldridge e Jennings (1995); Franklin e Graesser (1996); Tecuci (1998).

Em AVs, o uso de agentes compreende uma das abordagens mais exploradas. Nesta seção é apresentada uma introdução à abordagem de agentes. São comentadas algumas das principais definições para o termo agente, as propriedades e classificações atribuídas aos mesmos, bem como são apresentadas as arquiteturas de controle e metodologias utilizadas na modelagem e implementação destes agentes. Além disso, no que tange os agentes virtuais inteligentes, são apresentadas as questões relacionadas à percepção e a ação dos mesmos no ambiente.

6.3.3.1 Definições e Propriedades

Russell e Norvig (1995) definem um agente como um sistema capaz de perceber as informações do ambiente onde está inserido através de sensores e reagir através de atuadores. De acordo com Tecuci (1998), um agente é um sistema baseado em conhecimento que percebe seu ambiente (uma interface gráfica de usuário, uma coleção de outros agentes, por exemplo); raciocina para interpretar percepções; resolve

problemas e determina ações; e atua no ambiente para realizar um conjunto de tarefas para o qual foi designado. Segundo Garcia e Sichman (2003), os agentes inteligentes são personagens computacionais que atuam de acordo com um script definido, direta ou indiretamente, por um usuário.

Os agentes inteligentes podem ser caracterizados a partir de um conjunto de propriedades, as quais os diferenciam dos sistemas de software tradicionais. Segundo Wooldridge e Jennings (1995), eles possuem certas propriedades fundamentais: autonomia (operam sem a intervenção direta de humanos ou de outros agentes e têm algum controle sobre suas ações); habilidade social (interagem com outros agentes, humanos ou computacionais, ou com o próprio ambiente, por necessidade de resolução de problemas, conveniência ou auxílio a outros agentes); reatividade (percebem o ambiente e reagem às alterações nele ocorridas); pró-atividade (podem exibir um comportamento dirigido a objetivos, tomando iniciativas quando julgarem apropriadas).

Franklin e Graesser (1996) citam outras propriedades: adaptabilidade (habilidade que os agentes possuem em adquirir conhecimento a partir de suas experiências e adaptar seu comportamento conforme o conhecimento adquirido); temporalmente contínuo (o agente é um processo que está continuamente em execução); mobilidade (capacidade dos agentes navegarem entre máquinas, em redes de computadores); flexibilidade (habilidade dos agentes em agir quando as suas ações não estão descritas em roteiros pré-definidos); e personalidade (referente aos agentes que possuem uma personalidade e um estado emocional).

No contexto de agentes virtuais, especialmente humanos virtuais, Thalmann e Thalmann (1994) indicam certas propriedades que podem ser consideradas na modelagem destes agentes: comportamento (maneira como o agente atua no ambiente); percepção (observações do agente, contempladas a partir de sensores físicos); memória (que representa o processo de recuperação do que foi aprendido, especialmente a partir de mecanismos associativos); emoção (definida como um aspecto efetivo de consciência, um estado de sentimento); consciência (estado que caracteriza sensação, emoção e vontade); e liberdade (caracterizada pela ausência de restrições na escolhas ou ações do agente).

6.3.3.2 Classificações para Agentes

Uma forma de classificação para agentes inteligentes, geralmente adotada, está baseada no subconjunto de propriedades que os mesmos possuem. Pode-se atribuir uma classificação binária, considerando apenas uma propriedade, ou uma classificação múltipla, adotando várias delas. Por exemplo, seguindo uma classificação binária, pode-se dizer que um agente é móvel ou estacionário ou, seguindo uma classificação múltipla, indicar que o agente é móvel e não-adaptativo, dadas as propriedades de mobilidade e adaptabilidade.

Além disso, existem outras possibilidades de classificação, de acordo com: (a) a tarefa que o agente executa (para filtro de e-mail ou de informações, por exemplo); (b) arquitetura de controle (reativos, cognitivos, híbridos, baseados em estados mentais); (b) ambiente onde estão inseridos (web, base de dados, outros); e (d) tipo de conhecimento que possuem (preferências e interesses do usuário, informações sobre o negócio).

Alguns autores propõem classes ou denominações aos agentes. Franklin e Graesser (1996) apresentam uma classificação ampla, baseada em uma taxionomia biológica, dividindo os agentes em biológicos, robôs e computacionais. Os agentes computacionais são divididos em agentes de vida artificial e de software, sendo os últimos classificados em agentes baseados em tarefas, de entretenimento e vírus.

Jennings e Wooldridge (1996) distinguem três classes, de acordo com o nível de sofisticação dos agentes: “gopher” (executam tarefas baseadas em regras pré-especificadas); “service performing” (realizam uma tarefa a partir de uma requisição do usuário); e “predictive” (disponibilizam informações ou executam ações para o usuário, com certo grau de voluntariedade). Além disso, denominam agentes de usuários, os que possuem conhecimento sobre as preferências e interesses dos usuários, e agentes de negócios, os que detêm informações sobre o negócio (serviços, produtos, entre outras). Brenner et al. (1998) distinguem três categorias, dependendo da tarefa que os agentes executam: informativos (que oferecem suporte ao usuário na busca de informações em fontes distribuídas); cooperativos (que atuam na resolução de problemas complexos, através de cooperação e comunicação com outros objetos, agentes ou fontes externas); e transacionais (cujas tarefas principais são processar e monitorar processos).

Reilly e Bates (1992) apresentam os agentes emocionais (possuem um modelo de emoções e personalidade); Maes (1994) cita os agentes autônomos (realizam suas tarefas de forma essencialmente autônoma); Sycara et al. (1996) apresentam os agentes de interface (que interagem diretamente com o usuário) e os de tarefa (auxiliam usuário na realização de tarefas, formulando planos para a resolução de problemas).

Nwana (1996) cita os colaborativos (ênfase na cooperação com outros agentes); móveis, reativos (agem em resposta a estímulos do ambiente, sem capacidade de raciocínio), e híbridos (possuem características dos agentes reativos e capacidade de raciocínio); Rickel e Johnson (1997) citam os agentes pedagógicos (atuam em ambientes educacionais); e Aylett e Cavazza (2000) definem os agentes virtuais (atuam em ambientes virtuais e possuem representações gráficas associadas), que podem ser classificados como agentes físicos (ênfase dada ao comportamento físico do agente no ambiente) ou cognitivos (ênfase atribuída às habilidades cognitivas do agente e à interação com o usuário do sistema).

Garcia e Sichman (2003) apresentam uma taxionomia na qual um agente é considerado um tipo especial de sistema computacional e que pode ser classificado segundo alguns eixos: cognitivo, de foco, de atuação e ambiental. No eixo cognitivo, os agentes podem agir baseados em modelos racionais de decisão (cognitivo) ou apenas em modelos de reação aos estímulos provocados pelo ambiente (reativo). No eixo de foco, eles enfatizam similaridades físicas (estrutural) ou comportamentais (comportamental) com humanos. Quanto ao eixo de atuação, os agentes podem atuar de forma isolada (isolado) ou com outros agentes (social). Por fim, o eixo ambiental divide os agentes em atuantes em desktop (agente de desktop) ou em uma rede internet ou Intranet (agente de internet).

Por fim, Thalmann (1996,1999) propõe uma classificação para os agentes virtuais humanos, baseada no grau de autonomia dos mesmos no ambiente: avatares, representações do usuário no ambiente; atores guiados, dirigidos pelo usuário através de ordens; atores autônomos, capazes de ter comportamento próprio (autonomia de

controle); atores interativos e perceptivos, que interagem com o ambiente e se comunicam com outros atores.

A Tabela 6.1 apresenta uma síntese das principais classificações atribuídas aos agentes inteligentes. São apresentados os critérios que podem ser utilizados para classificá-los, juntamente com os tipos correspondentes.

Tabela 6.1 - Classificações de agentes inteligentes

Critério	Classificação
Tipo de entidade	Real (humano, biológico, robô físico) ou computacional (de vida artificial, de software)
Tipo de similaridade com humanos	Estrutural (físico) ou comportamental
Arquitetura de controle	Reativo, cognitivo, híbrido, baseado em estados mentais, com modelo de emoções
Tarefa	Transacional, informativo, de negócio, de usuário, de interface
Grau de autonomia	Avatares, guiados, autônomo, interativos e perceptivos
Localização	Móvel, estacionário, distribuído
Ambiente de atuação	De desktop (ambiente fechado), de rede (ambiente aberto), pedagógico (ambiente educacional), virtual (ambiente virtual tridimensional)
Tipo de atuação	Isolada ou social (grupo, cooperativo ou não cooperativo).
Tipo de interação	Com usuário, com outros agentes, com o ambiente, múltiplo

6.3.3.3 Agentes em Ambientes Virtuais

Em ambientes virtuais, os agentes podem atuar como assistentes dos usuários na exploração do ambiente e localização de informações, podendo estabelecer uma comunicação verbal (em linguagem natural, por exemplo) ou não verbal (através de movimentação, gestos e expressões faciais) com o usuário. Podem, ainda, executar ações no ambiente, conforme solicitações do usuário. Deste modo, estes agentes requerem tanto interações físicas com o ambiente quanto planejamento e tomada de decisões (comportamentos cognitivos), de forma que possam atuar de forma efetiva no ambiente e nas interações com os usuários.

Conforme Aylett e Cavazza (2001), se forem considerados os diferentes aspectos de um agente virtual, uma série de possibilidades existem. Primeiro, um agente deve possuir um corpo, o qual deve se mover de forma fisicamente convincente pelo ambiente, e deve também possuir algum comportamento associado. Segundo, de forma que o agente pareça responsável pelo ambiente onde atua, deve existir um acoplamento entre o seu comportamento e o estado do ambiente. Por fim, o repertório comportamental de um agente virtual pode variar dependendo da aplicação: em alguns casos o foco está na interação física com o ambiente e, em outros casos, mais no comportamento cognitivo, usualmente expresso através de fala ou linguagem natural (síntese e reconhecimento de fala, por exemplo).

Deste modo, pode-se considerar que agentes virtuais requerem comportamentos cognitivos e físicos. Assim, deve existir uma integração entre percepção do ambiente, ação no ambiente e raciocínio e planejamento. Isto envolve o uso das técnicas de IA, no que tange os comportamentos cognitivos, e de CG, no que se refere aos comportamentos físicos (animação da estrutura gráfica) dos mesmos. Nas seções seguintes, estes aspectos serão comentados. Na seção *Percepção do ambiente*, são apresentadas as principais abordagens utilizadas para que os agentes possam perceber o ambiente em que atuam. Na seção *Ação no ambiente*, são comentados os aspectos relacionados às interações físicas dos agentes. As metodologias para a especificação de como os agentes se comportam durante a interação com o ambiente e na realização de suas tarefas são comentadas na seção *Arquiteturas de controle*. Em seguida, a integração entre estes aspectos será comentada.

6.3.3.3.1 Percepção

De forma que possam atuar no ambiente, os agentes virtuais devem percebê-lo. Deste modo, conforme Aylett e Luck (2000), a percepção é uma interação entre um agente e seu ambiente. Os mecanismos utilizados para a percepção virtual variam desde a projeção de linhas a partir da parte frontal do agente até modelos inspirados no sistema de visão biológico.

O mais simples mecanismo de percepção virtual está baseado na projeção de uma linha a partir da parte frontal do agente. A percepção consiste em obter as informações sobre os objetos que intersectam esta linha. Esta abordagem é similar à utilizada pelos sistemas baseados em infravermelho, comumente usadas em Robótica. Uma abordagem aproximada é proposta por Villamil (2003a), onde a percepção dos agentes autônomos está baseada na utilização de uma região de percepção (Figura 6.5), que considera uma distância (d_i) e um ângulo de percepção (θ_i). Esta região compõe o campo de visão dos agentes no ambiente.

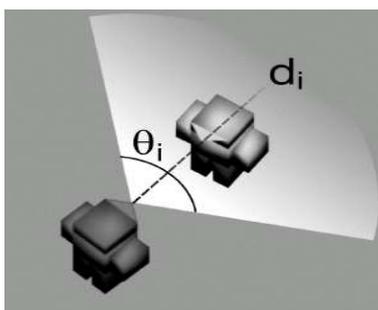


Figura 6.5. Região de percepção de um agente (Villamil, 2003a)

Outra forma de percepção virtual está baseada em um modelo de visão artificial inspirado em um modelo biológico. Esta abordagem é utilizada na percepção de peixes virtuais na proposta de Terzopoulos et al. (1994). Neste sistema, o campo de visão do agente é projetado a partir de uma retina artificial e algoritmos processam os pixels que se encontram dentro da esfera projetada, detectando os elementos do ambiente.

Uma abordagem intermediária consiste em um mecanismo baseado em trocas de mensagens. Um exemplo da aplicação deste mecanismo é o utilizado pelo agente STEVE (Rickel e Johnson, 1997), um agente pedagógico inserido em um ambiente baseado em

Realidade Virtual para treinamento da utilização de equipamentos navais. No caso do STEVE, a percepção do ambiente está baseada no uso de um barramento de comunicação, que integra a base de conhecimento do agente com o mundo virtual onde ele está inserido. Por este barramento, são passadas mensagens que descrevem todas as alterações que ocorrem no ambiente, em termos dos atributos dos seus objetos. Deste modo, o agente mantém atualizado o modelo simbólico do ambiente, a partir do qual o seu raciocínio e ação estão baseados.

6.3.3.3.2 Ação no Ambiente

Sob uma perspectiva geral, a atuação física de um agente virtual está baseada na movimentação da estrutura gráfica que o representa, o que pode envolver gestos e expressões faciais. A complexidade desta atuação varia conforme a sofisticação da estrutura gráfica do agente, suas atividades no ambiente, e suas interações com objetos, outros agentes ou usuários do sistema.

Neste processo, são consideradas a modelagem geométrica da estrutura corporal do agente, usualmente suportada por toolkits, tais como 3DStudio e 3DMax, e a animação desta estrutura, o que envolve abordagens que enfatizam o realismo físico ou que visam dotar os agentes de um controle mais autônomo. Uma forma simples de animação envolve a interpolação da estrutura do agente através de um conjunto de pontos, sem considerar animações periféricas, tais como a de braços e pernas. Este método é usualmente aplicado quando a atuação física do agente no ambiente não envolve interações sofisticadas, gestos ou expressões faciais.

No caso de interações mais sofisticadas, são utilizadas as técnicas de animação por computador, exploradas em Computação Gráfica. Dentre estas técnicas podem ser citadas as baseadas em keyframes, motion capture, procedural e baseada em bibliotecas de scripts, baseada em física, baseada em regras e baseada em eventos. As duas primeiras técnicas consideram aspectos de mais baixo nível, relacionados aos movimentos físicos e ao correspondente realismo visual; enquanto as duas últimas oferecem um nível maior de abstração, estando baseadas na invocação de comportamentos, tais como caminhar, correr. É importante destacar que no contexto de animação, o termo comportamento difere do adotado em IA. Em CG, este termo se refere a uma animação pré-determinada, enquanto em IA envolve a ocorrência de eventos no ambiente que conduzem a uma reação.

De um modo geral, as técnicas de animação por computador envolvem a pré-determinação de um repertório de animações, sendo aplicáveis quando as ações são repetitivas, o que não requer o controle autônomo do agente. Conforme Aylett e Luck (2000), considerando que os agentes virtuais têm uma estrutura corporal realística, um aspecto importante é prover um controle autônomo sobre ela, com o movimento do agente dado por uma ativação interna e não apenas como uma animação de sua superfície corporal. Neste contexto, a ação física de um agente virtual envolve não apenas cálculos referentes à animação de sua estrutura geométrica, mas também um controle autônomo em mais alto nível, associado a semântica das ações no ambiente.

Esforços em Computação Gráfica e Vida Artificial têm objetivado dotar os agentes virtuais em seus ambientes com um comportamento físico mais autônomo, no lugar de um comportamento pré-definido. Esta abordagem é proposta nas pesquisas em

animação comportamental (Reynolds, 1987; Terzopoulos et al. 1994). Conforme Parent (2002), a animação comportamental consiste em modelar elementos que obedecem a certas regras de comportamento.

Um dos primeiros trabalhos na área de animação comportamental foi o de Reynolds (1987), que simulou o comportamento de pássaros virtuais (Figura 6.6). Segundo este autor, movimentos complexos podem ser modelados a partir de um conjunto de regras simples, associadas a cada agente, tais como manter uma distância mínima de obstáculos e uma certa velocidade de movimentação.

Seguindo esta abordagem, Terzopoulos et al. (1994,1999) apresentam a simulação de grupos de peixes virtuais (Figura 6.7), onde cada um é dotado de percepção (visão artificial), controle de locomoção (baseada em um sistema massa-mola para impulsionar o peixe na água) e de um comportamento (baseado em um conjunto de parâmetros, tais como grau de fome e medo de predadores).



Figura 6.6. Simulação do comportamento de pássaros (Reynolds, 1987).



Figura 6.7. Simulação do comportamento de peixes (Terzopoulos, 1999).

Além dos trabalhos relacionados com a simulação de animais virtuais, existe uma intensa pesquisa em animação comportamental envolvendo grupos de humanos virtuais (Tomaz e Donikian, 2000; Musse, 2000; Evers, 2002; Villamil, 2003a). Nestes ambientes, o controle dos humanos virtuais é feito a partir de um sistema baseado em regras, que guiam o comportamento dos mesmos. Esta abordagem pode ser utilizada para gerar uma hierarquia de objetivos que influenciam o movimento dos agentes. Schweiss et al. (1999) apresentam um sistema de regras que gerencia o comportamento de humanos virtuais. Neste sistema, os agentes possuem objetivos como “comprar um bilhete de passagem” e “tomar um trem”, seguindo uma hierarquia. Conforme Aylett e Cavazza (2001), o movimento de um agente virtual, considerando que combina movimentos voluntários, dirigidos a objetivos, com movimentos involuntários, dirigidos pela psicologia e biologia, envolve questões além da modelagem física. Se o movimento é gerado a partir de

objetivos – algumas vezes descrito como animação baseada em tarefas – uma representação que combina um nível de objetivos simbólicos e o movimento executado é necessária.

Uma outra abordagem para a animação comportamental, é baseada em um modelo físico para a simulação comportamental de grupos de humanos virtuais em situações de emergência, proposta por Braun et al. (2003). É apresentado um modelo que considera características de indivíduos em grupos emergentes, que consiste em uma generalização do modelo físico de simulação de multidões proposto por Helbing (2000).

Por outro lado, além da animação da estrutura corporal do agente, a comunicação não-verbal, especialmente a relacionada com o uso de expressões faciais, tem sido assunto de intensa pesquisa em agentes conversacionais (Cassel, 2000). Este tipo de comunicação envolve, além das técnicas para a animação da face do agente, fala sincronizada e entonação de voz.

Deste modo, o agente virtual requer usualmente um controle sobre as suas ações, que deve considerar a percepção/interação com o ambiente e também os seus objetivos. Isto leva a necessidade de que seja definida uma estratégia e/ou arquitetura de controle que irá ser responsável pelo controle das ações do agente e monitoramento dos eventos externos que ocorrem no ambiente onde este está inserido. As arquiteturas de controle são comentadas na seção seguinte. Serão também comentados os aspectos relacionados a colisão e a interação dos agentes com objetos do ambiente e com o usuário.

6.3.3.3 Arquiteturas de Controle

Uma arquitetura de agentes indica uma metodologia para a implementação da cognição e processo de decisão destes. Através dela, é especificado como um agente se comporta durante a interação com o ambiente e na realização de suas tarefas. Segundo Correa (1994), para definir a arquitetura de um agente é necessário conhecer o tipo de tarefa que o agente irá realizar e o seu papel no ambiente onde se encontra. Estas arquiteturas podem ser classificadas de acordo com os mecanismos usados pelos agentes para selecionar uma ação (Viccari e Giraffa, 1996). Em função disso, sob a perspectiva da IA, as arquiteturas podem ser classificadas em: cognitivas, reativas, híbridas e baseadas em estados mentais. Nas seções seguintes, estas arquiteturas são comentadas.

É importante destacar que diferentes mecanismos para controlar a ação dos agentes virtuais em seus ambientes são utilizados pelos pesquisadores de IA e CG. Os pesquisadores da IA adotam abordagens que variam desde um “loop” simples do tipo estímulo – reação, e que não envolve raciocínio, até os baseados em estados mentais, onde o processamento interno de um agente é descrito utilizando um conjunto básico destes estados, tais como crenças, desejos, intenções e expectativa. Sob a ótica da CG, as bibliotecas de scripts vem sendo utilizadas como bibliotecas de comportamentos pré-determinados. Deste modo, a abordagem adotada para o controle de seus agentes varia de acordo com o grau de autonomia do agente no ambiente, o qual está intimamente relacionado com a aplicação e o tipo de atividade que o mesmo exerce.

Arquitetura reativa. Uma arquitetura é denominada reativa ou não-deliberativa quando a escolha da ação a ser executada está relacionada de forma direta com a ocorrência de eventos no ambiente. Nessa arquitetura, o controle das ações do agente é realizado a partir de um comportamento do tipo situação – ação (ou estímulo – resposta). O agente

age em um espaço de tempo, com base em uma pequena quantidade de informação, no instante em que recebe ou percebe algum sinal ou estímulo do ambiente.

Nesse tipo de arquitetura não há representação explícita do conhecimento sobre o ambiente (Brenner et al. 1998). O conhecimento dos agentes é implícito e manifestado através de comportamentos, o que pode restringir a autonomia do agente e sua capacidade de aprender e melhorar seu desempenho. Outra característica marcante dessa arquitetura é a ausência de memória das ações passadas, sendo que o resultado de uma ação passada não exerce influência direta sobre as ações futuras.

Os agentes modelados a partir de uma arquitetura reativa, denominados reativos ou não-deliberativos, não possuem capacidade de raciocínio e planejamento, e por isso, são consideradas entidades mais simples do que os agentes cognitivos. São agentes baseados em comportamento, definido a partir da situação atual do ambiente e do conhecimento (entrada sensorial) que possuem. Além disso, as ações destes agentes são realizadas em resposta a estímulos oriundos do ambiente.

Como exemplos destes agentes, podem ser citados os robôs com uma arquitetura de controle reativa. Eles possuem um número de sensores que os permitem perceber o ambiente, e as informações recebidas pelos sensores são utilizadas para disparar a próxima ação no ambiente. Por exemplo, sempre que um sensor detecta um obstáculo, uma alteração na direção do movimento do robô deve ser realizada. É o típico caso “situação – ação”.

Arquitetura cognitiva. Uma arquitetura é dita cognitiva ou deliberativa quando a escolha da ação a ser executada pelo agente é realizada a partir de um modelo simbólico do ambiente e de um plano de ações. Essa arquitetura está fundamentada na produção de uma seqüência de ações (planos) para alcançar um determinado objetivo. Tais ações estão baseadas nas hipóteses de que o agente possui um conhecimento do ambiente e de outros agentes. Para isso, é mantida uma representação explícita do conhecimento sobre o ambiente, bem como um histórico das ações passadas.

Entretanto, a arquitetura cognitiva é tipicamente incapaz de agir rápida e adequadamente perante situações não previstas (Giraffa, 1997). Ela adota a hipótese de que as condições do mundo permanecem estáticas enquanto o agente estiver executando as suas ações ou processando alguma informação para deliberar sobre as ações. Por outro lado, essas arquiteturas apresentam objetivos explícitos, que podem ser alterados, bem como componentes de percepção, aprendizagem e raciocínio.

Os agentes modelados a partir de uma arquitetura cognitiva, denominados cognitivos ou deliberativos, raciocinam e decidem sobre quais objetivos devem alcançar, que planos seguir e quais ações devem ser executadas em um determinado momento. Deste modo, um agente executa uma ação inteligente quando, possuindo um certo objetivo e o conhecimento de que uma certa ação o conduzirá a este objetivo, seleciona esta ação.

Os agentes cognitivos agem de acordo com o seu conhecimento, porque dispõem de uma capacidade de raciocínio sobre uma base de conhecimento e aptidões para tratar de informações diversas. Tais informações estão ligadas ao domínio da aplicação e são relativas às interações entre os agentes e o ambiente (Frozza, 1997). Além disso,

planejam ações futuras a partir do raciocínio aplicado à memória das ações realizadas no passado.

Arquitetura híbrida. A arquitetura híbrida é aquela em que a escolha da ação é realizada usando uma combinação entre as técnicas utilizadas em arquiteturas cognitiva e reativa (Giraffa, 1997; Heinen, 2001; Heinen, 2002a). Essa arquitetura foi proposta como alternativa para solucionar as deficiências principais das duas arquiteturas anteriores. A arquitetura cognitiva é tipicamente incapaz de reagir rápida e adequadamente perante situações não previstas. Na arquitetura reativa, o agente é incapaz de descobrir alternativas para o seu comportamento quando a situação do mundo diverge bastante de seus objetivos iniciais. Além disso, o agente não possui capacidade de raciocínio e planejamento.

O objetivo é construir um agente atuante em dois subsistemas: o sistema cognitivo, que contém um modelo simbólico do mundo, utilizando planejamento e tomada de decisões, e o sistema reativo, capaz de reagir a eventos que ocorrem no ambiente. Os agentes híbridos são normalmente projetados através de uma arquitetura hierárquica. Os níveis mais baixos representam o sistema reativo e são usados para a aquisição de informações do ambiente, de outros agentes ou de outras fontes. Os componentes cognitivos, responsáveis pelo planejamento e determinação de objetivos, são usados nos níveis mais altos (Brenner et al. 1998).

Arquitetura baseada em estados mentais. A idéia básica de uma arquitetura baseada em estados mentais está em descrever o processamento interno de um agente utilizando um conjunto básico destes estados, tais como crenças, desejos, intenções, expectativa, entre outros. A arquitetura BDI (Belief, Desire, Intention) é um exemplo de arquitetura baseada em estados mentais, apesar de ser considerada por alguns autores uma estrutura deliberativa, pelo fato de manter uma representação simbólica do ambiente, expressa em crenças, desejos e intenções.

Segundo Rao e Georgeff (1995), Belief (crença), Desire (desejo) and Intention (intenção) representam, respectivamente, a informação, a motivação e o estado deliberativo de um agente. De modo intuitivo, as crenças correspondem à informação que o agente possui sobre seu ambiente, desejos representam opções de estados futuros disponíveis ao agente (motivação) e intenções são os estados futuros que o agente escolheu e com os quais comprometeu-se (deliberação).

As crenças, segundo Brenner et al. (1998) são as visões do agente diante do mundo, as expectativas que o agente possui para os estados futuros. É o conhecimento do ambiente, representado de forma explícita. Para Rao e Georgeff (1995) é o componente informativo do estado do sistema, necessário para fornecer informações sobre o provável estado do ambiente.

Os desejos representam o julgamento dos estados futuros (Brenner et al. 1998). O agente pode querer que um estado contido em suas crenças possa ocorrer no futuro. Eles representam o estado motivacional do sistema (Rao e Georgeff, 1995). Um desejo é uma noção abstrata que indica as preferências sobre os estados futuros do ambiente. Representa uma situação ou conjunto de situações em que o agente gostaria que o mundo estivesse.

As intenções são as metas escolhidas conforme a prioridade do agente. Elas representam os componentes deliberativos do sistema (Rao e Georgeff, 1995), que servem para decidir o curso de ação que deve ser tomado pelo sistema. É o resultado das escolhas, que leva o agente a uma ação.

Neste contexto, o raciocínio prático do agente envolve repetidamente atualizar as crenças a partir da percepção do ambiente, decidir quais opções estão disponíveis, filtrar estas opções para determinar novas intenções e agir baseado nestas intenções. A idéia é decidir qual ação executar que melhor atenda os objetivos dos agentes. Em suma, envolve decidir quais metas devem ser atingidas e como isso será feito.

O uso desta abordagem para a modelagem de agentes virtuais cognitivos, com a finalidade de implementar personagens animados é proposto por Torres et al. (2003). O sistema de raciocínio dos agentes, baseado em estados mentais definidos a partir da metodologia BDI, dirige o comportamento autônomo dos agentes em um sistema de animação.

Outras arquiteturas. No contexto de sistemas multiagente, a metodologia AEIO (Demazeau, 1995) considera o problema a ser modelado como composto por quatro elementos: Agents, Environment, Interactions e Organization. Na definição desses elementos, são considerados, respectivamente: o número de agentes e seus tipos (cognitivos ou reativos, por exemplo); as características do ambiente (dependentes do domínio do problema); as interações entre os agentes; e os mecanismos de coordenação e cooperação entre os agentes.

Outra metodologia que considera a interação entre agentes é a KSI (Musse, 2000), apresentada na seção 6.4.2. Esta metodologia é aplicada no trabalho de Evers (2002), onde é descrito um modelo para simulação de grupos de humanos virtuais. O modelo utiliza uma abordagem microscópica para criar multidões, partindo de indivíduos complexos, que possuem intenções, emoções e memórias (que provêm “conhecimento” aos indivíduos que aprendem baseados em experiências passadas). O agrupamento dos humanos virtuais é feito com base em seus conhecimentos em comum.

Uma metodologia de mais alto nível é apresentada em Aylett e Cavazza (2001), onde é proposto descrever o comportamento de um agente com base em três níveis: movimento, ação e intenções. O movimento corresponde à simulação física (animação) no ambiente virtual; as ações correspondem aos padrões de movimentos requeridos para executar ações específicas; e intenções se referem os objetivos de alto nível do agente.

Por fim, nas abordagens de vida artificial (VA), onde, de um modo geral, a ênfase está na simulação de comportamentos de grupos de animais, as arquiteturas comportamentais refletem comportamentos baseados em estímulos e um motor de respostas, responsável por animar o corpo. No entanto, conforme Aylett e Cavazza (2001), sensores de entrada idênticos podem produzir comportamentos diferentes, de acordo com regras internas, que tem função de ativar partes diferentes do repertório comportamental.

6.3.3.3.4 Integrando Percepção, Controle e Ação

Para um agente virtual inteligente, a inteligência compreende vários componentes, tais como percepção, aprendizado, comunicação em linguagem natural e raciocínio, todos integrados (Aylett e Cavazza, 2001). Deste modo, um comportamento inteligente

envolve definir a melhor seqüência de ações, considerando os objetivos do agente e a situação corrente do ambiente. Assim, os agentes virtuais envolvem níveis cognitivos (raciocínio e planejamento) e níveis físicos (ação - animação). O aspecto importante é como estes níveis podem ser integrados. Nas seções anteriores, foram apresentadas as abordagens que compreendem percepção, ação e arquiteturas de controle. Nesta seção serão comentados trabalhos que exploram a integração entre os níveis cognitivos e físicos.

Conforme Aylett e Cavazza (2001), uma forma primitiva de integração entre estes níveis, envolve o uso de algoritmos de IA e primitivas de animação, como pode ser ilustrado pelo exemplo do planejamento de trajetória. Neste caso, as técnicas de planejamento são acopladas diretamente com o nível de animação. Estas técnicas consistem em encontrar o melhor caminho entre um ponto inicial e um ponto destino, considerando a presença de obstáculos neste caminho. Estas técnicas foram originalmente exploradas em aplicações de robôs autônomos (Latombe, 1991) e vêm sendo aplicadas em ambientes virtuais (Kuffner, 1998; Heinen 2002a; Heinen e Osório 2002b; Bandi e Thalmann, 1998; 2000). Um dos mais conhecidos algoritmos de planejamento de trajetória é o A* (Nilsson, 1980).

Um exemplo do uso de planejamento de trajetória, juntamente com primitivas de animação é apresentado por Chittaro et al. (2003). A abordagem é utilizada para a navegação autônoma de um agente virtual, de acordo com os objetivos do usuário. No ambiente, o agente virtual é designado a auxiliar o usuário na navegação por um museu virtual. A partir da descrição dos lugares ou objetos de interesse a serem visitados, o agente cria autonomamente a trajetória apropriada .

Outro exemplo de uso de técnicas de planejamento em IA é o agente STEVE. Considerando que ele age como um tutor ou demonstrador em um domínio onde o estudante está tentando aprender os procedimentos para operar uma máquina, é mantido, em um nível cognitivo, a representação de um plano (seqüência de ações), que guia o seu comportamento no ambiente. O formalismo de planejamento adotado permite a representação das ações como um conjunto de nodos ligados por links causais (um link causal ocorre quando o efeito de uma ação é a pré-condição para a execução de outra). As seqüências de ações são definidas em um plano, repassado a um componente responsável por executá-lo em um nível físico. Neste caso, o monitoramento da execução das ações é uma fonte de percepção. Além disso, STEVE é um exemplo de agente com componente cognitivo orientado a objetivos, o qual permite a ele selecionar sua própria ação, com base em seu plano de ações.

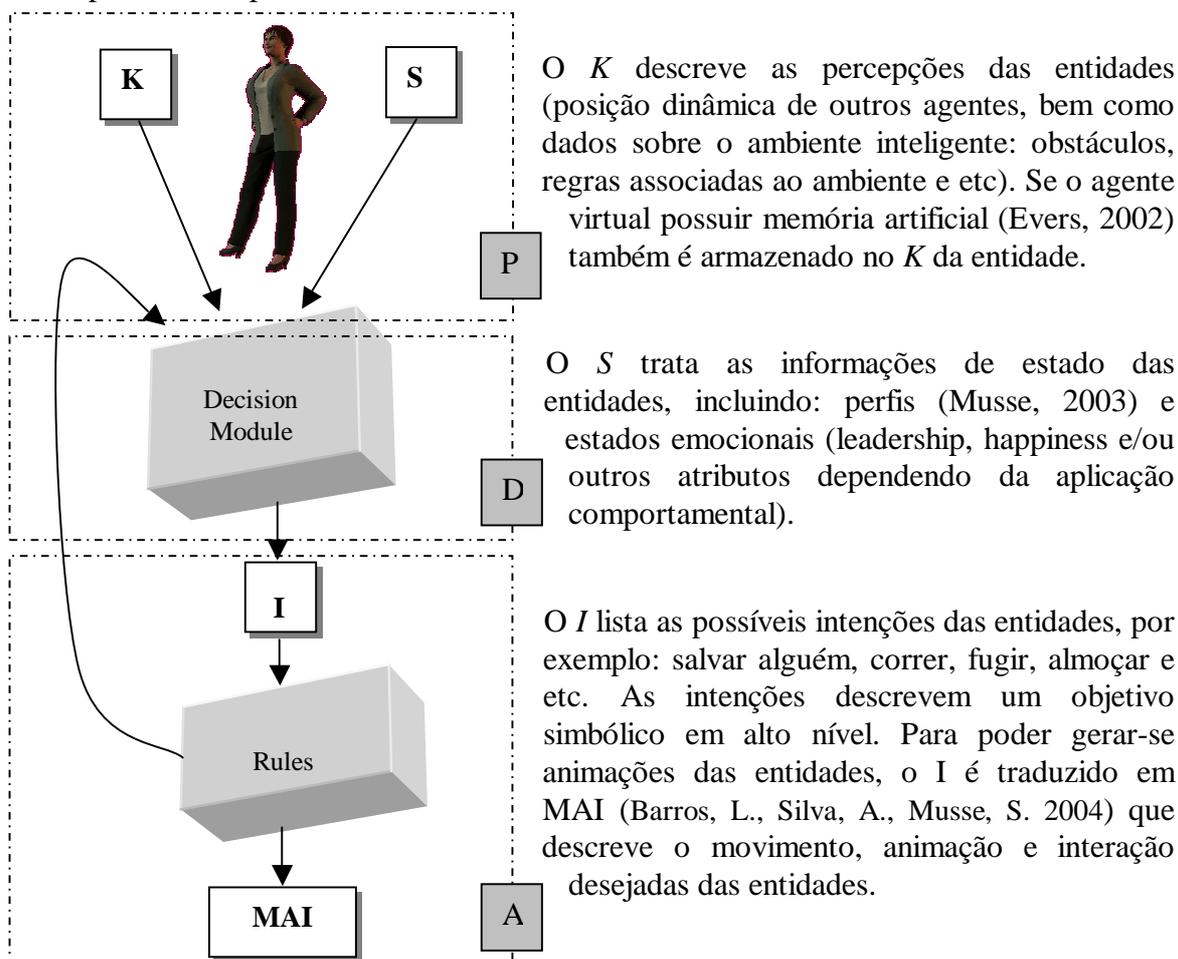
Além disso, distinções entre níveis cognitivos e físicos são apresentadas por Perlin e Goldberg (1996) e Thalmann e Thalmann (1995). Perlin e Goldberg introduzem uma distinção entre controle de animação em baixo nível e um comportamento em alto nível, apresentando a arquitetura IMPROV. Esta arquitetura está baseada em uma biblioteca de scripts e suporta um controle de alto-nível de animação de atores virtuais. Thalmann e Thalmann (1995) apresentam uma distinção entre controle de movimento e padrões comportamentais mais complexos.

Outros exemplos de abordagens que combinam o uso de arquiteturas de controle e primitivas de animação são apresentados nos trabalhos desenvolvidos no Laboratório CROMOS⁹ são mencionados com detalhes nas próximas seções.

6.3.3.4 Grupo e Multidões de Agentes

Temos trabalhado com grupos e multidões de humanos virtuais desde o desenvolvimento de ViCrowd (Musse, S. e Thalmann, D. 1997) com a proposta de que multidões são estruturas hierárquicas formadas por grupos que são formados por indivíduos. A Figura 6.8 mostra a arquitetura proposta em ViCrowd onde se podem visualizar as informações das multidões (Crowd information), as informações dos grupos e seus comportamentos (GIB) e as informações dos indivíduos bem como dados de seus comportamentos. Além disso, percebe-se na Figura 6.8, as formas de controle da simulação definidas em ViCrowd, são elas: através de dados existentes no script, controle externo (arquitetura cliente-servidor) e regras (eventos e reações).

Foi proposto em ViCrowd e segue sendo utilizado nas pesquisas do Laboratório CROMOS um paradigma baseada em três entidades de informação: KSI sendo K o conhecimento das entidades (Knowledge), S o estado (status) e I as intenções (intentions). O KSI existe para os diferentes níveis de hierarquia de ViCrowd e das pesquisas atuais do CROMOS. Esses níveis de informação são usados na arquitetura comportamental para a tomada de decisões das entidades virtuais.



⁹ <http://www.inf.unisinos.br/~cglab/cromoslab>

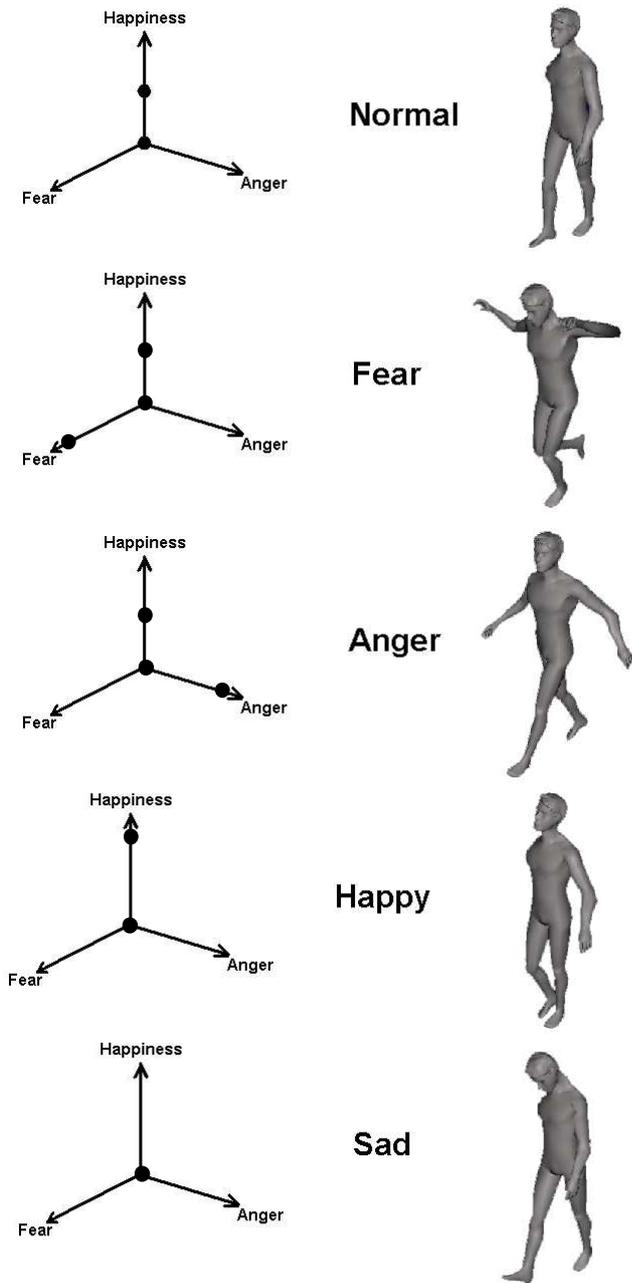


Figura 6.9. Imagens de animações cujas entidades foram descritas através do paradigma KSI.

Conforme pode ser visto na Figura 6.8, o módulo de decisão leva em consideração O K e S das entidades de maneira a encontrar o I que satisfaz as condições das regras comportamentais específicas da aplicação. Posteriormente, algumas regras são utilizadas para traduzir I em MAI de maneira se enviar códigos básicos suficientemente para serem aplicados pela animação das entidades (p.ex. caminhar, correr, abanar e etc).

KSI são aplicados em multidões, grupos e indivíduos, MAIs existem somente para indivíduos. Uma aplicação é descrita na seção 6.6.2. Figura 6.9 ilustra cenas de diferentes animações causadas por entidades com variados S.

6.4 Dos Ambientes Virtuais a Simulação de Comportamentos do Mundo Real

A compreensão do comportamento humano tem se revelado um desafio permanente ao próprio homem em função de sua complexidade e diversidade. As suas características individuais e coletivas produzem uma grande variedade de comportamentos, tornando sua modelagem complexa e requerendo uma imensa quantidade de atributos a serem considerados para que se consiga uma descrição autêntica de suas ações, emoções e interações com o meio e com os demais.

Os ambientes virtuais tem sido usados para simular situações do mundo real, como para estudar o comportamento humano, realizar planejamento urbano, entre outros. Simular o comportamento humano de forma realista, imitando a forma de agir das pessoas de acordo com seus vários atributos, envolve o estudo de modelos comportamentais baseados em física e em regras de comportamentos sociais, que serão apresentados nesta seção.

6.4.1 Modelos Comportamentais Baseados em Física

A utilização de descrições físicas de movimentos tem sido amplamente investigada para a animação de entidades em ambientes virtuais. Nesse tipo de abordagem, o movimento é determinado por meio de equações que são resolvidas numericamente para determinar a posição dos objetos no próximo *frame*, conhecidas as suas condições no *frame* atual e as interações (forças) às quais os corpos estão sujeitos.

Simulações de fluidos (gases, líquidos, fogo, nuvens), de corpos deformáveis (tecidos, músculos), de sistemas de partículas e de corpos rígidos descritas dessa maneira são comuns por apresentarem resultados realísticos, uma vez que os movimentos são obtidos através das propriedades físicas reais das entidades que se deseja representar. Em contrapartida, dependendo da aplicação, simplificações e aproximações são necessárias dado o custo computacional da resolução dessas equações, principalmente para grande número de entidades.

Um exemplo de biblioteca utilizada para simular veículos (cinemática e dinâmica), objetos em ambientes virtuais e personagens animados é a ODE¹⁰. Uma biblioteca de alta performance para simular corpos dinâmicos, utilizada em alguns jogos e em ferramentas de simulação.

¹⁰ <http://ode.org>

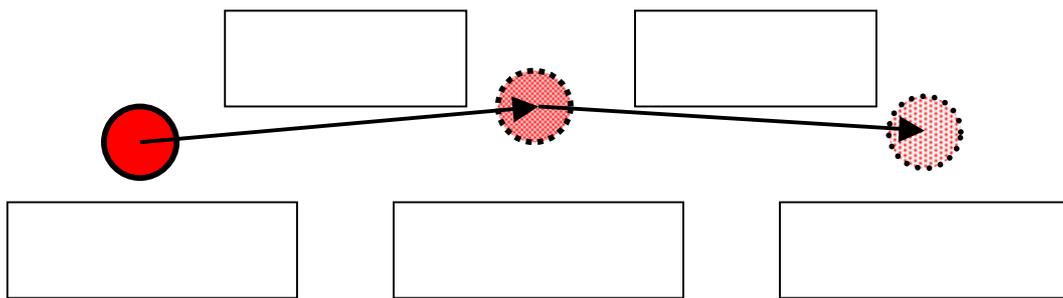


Figura 6.10. Esquema simplificado mostrando o processo de determinação das posições ao longo do tempo em simulações baseadas em Física.

A modelagem do comportamento humano utilizando analogias com sistemas físicos é relativamente recente. Apesar de, em uma primeira análise, parecer inviável descrever matematicamente ações de seres humanos em virtude de sua diversidade e complexidade, esse tipo de abordagem pode ser utilizada, pois procura descrever o comportamento coletivo quando as pessoas encontram-se em grupos com objetivos comuns. Essa abordagem encontra respaldo na psicologia social quando essa se refere ao chamado “comportamento de massa”, que afirma que em algumas condições as pessoas podem perder suas individualidades e adotar o comportamento do grupo ao qual pertencem (Benesh, 1995), agindo de forma diferente do que agiriam se estivessem sós. Esses sistemas constituem-se portanto de simplificações, nas quais o objetivo é reproduzir as características macroscópicas principais dos sistemas através de um número reduzido de variáveis em um tempo computacional aceitável. Descreveremos três modelos inspirados nesse paradigma, mostrando que é possível simular o comportamento humano matematicamente quando o comportamento coletivo se sobrepõe ao individual, de forma a capturar características emergentes relevantes.

Em 1997, Bouvier e colaboradores propuseram um modelo genérico para utilização de sistemas de partículas para simulação de sistemas dinâmicos. Sistemas de partículas constituem-se de numerosas entidades com poucas diferenciações entre si, cuja evolução temporal é descrita por leis físicas. Cada partícula possui parâmetros como massa, propriedades de difusão, dimensão espacial, e parâmetros de visualização (tamanho, cor, transparência, geometria). Em cada instante, as partículas possuem um estado definido por sua posição, sua velocidade e sua aceleração. Campos de força alteram as variáveis de estado das partículas atraindo-as (orientando o movimento) ou repelindo-as (para evitar colisão, por exemplo).

Esse sistema foi adaptado para simular multidões de agentes. Para tanto, os autores introduziram os conceitos de cargas e campos de decisão para as partículas (que representam os agentes) cujo movimento é descrito como o de cargas sujeitas a campos elétricos. As partículas entram na cena por “fontes” determinadas por sua forma, posição direção e “taxa de emissão”. No caso de grupos coesos como famílias, os mesmos são tratados como “indivíduos estendidos”, pois todos os membros têm mesmos objetivos e movem-se juntos. Segundo os autores, esse modelo pode ser utilizado tanto para popular ambientes virtuais como *shopping centers* em situações cotidianas como para simulação de evacuação no caso de emergências.

Helbing et al. (2000), propuseram um modelo de forças físicas e sócio-psicológicas a fim de descrever o comportamento de multidões humanas em situações de pânico. Esse modelo também utiliza um sistema de partículas para representar os indivíduos, no qual cada partícula i de massa m_i tem um valor de velocidade desejado v_i^0 em uma direção indicada por um vetor unitário \vec{e}_i^o (apontando para a saída), tendendo a adaptar sua velocidade instantânea \vec{v}_i a essas condições desejadas dentro de um certo intervalo de tempo τ_i (primeiro termo à direita da Equação 1). Simultaneamente, as partículas tendem a manter uma distância dependente da velocidade em relação às outras partículas j e paredes p usando forças de interação \vec{f}_{ij} e \vec{f}_{ip} (segundo e terceiro termos à direita da Equação 1), respectivamente. A mudança da velocidade no tempo t é dada pela equação dinâmica:

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = m_i \frac{\vec{v}_i^o(t)\vec{e}_i^o(t) - \vec{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} \vec{f}_{ij} + \sum_p \vec{f}_{ip} \quad (1)$$

Nessa equação, $d\vec{v}_i/dt$ representa a aceleração da i -ésima partícula e os termos no lado direito representam a força resultante atuando sobre ela, representando a segunda Lei de Newton ($\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$) para corpos com massa constante.

Este modelo gera resultados observados em cenários reais como a formação de arcos na saída (Figura 6.11(a)), o aumento no tempo de evacuação com o aumento do módulo da velocidade desejada e transição para movimento desordenado devido a engarrafamento na saída com o aumento da velocidade desejada (avalanches).

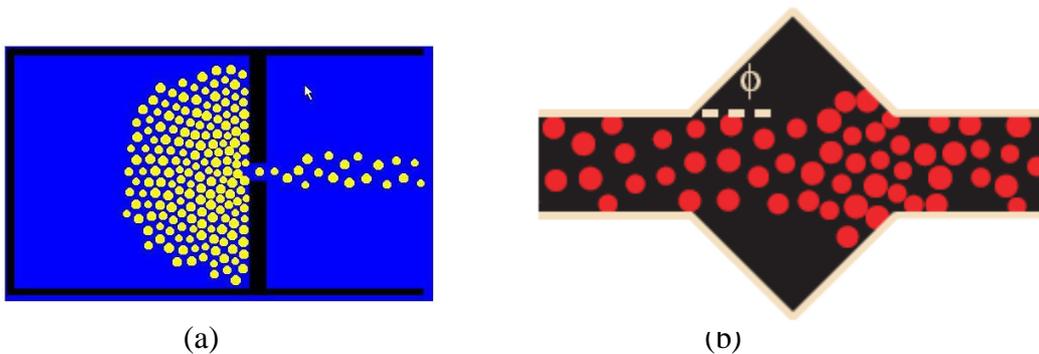


Figura 6.11. Resultados publicados por Helbing et al. (2000). (a) formação de arcos humanos (b), alargamento do corredor provoca dispersão das partículas.

Em outro grupo de simulações, os autores consideraram corredores com largura variável e observaram efeitos de espalhamento da multidão nos estreitamentos, produzindo engarrafamentos, conforme a Figura 6.11(b). Nas simulações realizadas por Helbing et al. Os ambientes virtuais são relativamente simples e o comportamento das partículas homogêneo, ou seja, todas elas têm o mesmo objetivo – a saída da sala – e se dirigem para este objetivo tão logo a simulação inicie. Porém, observa-se na prática que as pessoas em geral não reagem de forma igual às situações de perigo. Suas características físicas e cognitivas influem em seu movimento e podem ser decisivas no processo de evacuação. Em virtude disso, Braun et. al (2003) propuseram a consideração de individualidades no espaço de parâmetros do modelo de Helbing.

Com esse objetivo, foram atribuídos níveis de altruísmo e dependência aos agentes, pois uma pessoa altruísta pode ir em direção ao perigo para resgatar outra pessoa que precise de ajuda ao invés de se dirigir imediatamente para a saída. Para que esse comportamento seja levado em consideração, a população de agentes será composta heterogeneamente por indivíduos com diferentes características. Cada agente i é definido de acordo com os seguintes parâmetros:

- Id_i - Identificador dos agentes;
- $Família_i$ - Identificador da família. Uma família é um grupo pré-definido representando uma forte relação entre as pessoas;
- D_i - Nível de dependência do agente definido por um valor normalizado no intervalo $[0,1]$, o qual representa a necessidade de ajuda do agente i . $D_i = 1$ significa agentes dependentes ao máximo;
- A_i - Nível de altruísmo do agente, também definido por um valor normalizado pertencente ao intervalo $[0,1]$. Esse parâmetro representa a tendência a ajudar um outro agente. Por simplicidade, foi considerado altruísmo apenas entre membros da mesma família. Em outras palavras, agentes com alto nível de altruísmo tentam resgatar agentes dependentes da sua família;

A fim de modelar o efeito do parâmetro dependência velocidade individual, v_i^0 é considerado uma função de D_i e de uma velocidade máxima v_{max} de acordo com a seguinte expressão: $v_i^0 = (1 - D_i)v_{max}$

Conseqüentemente, se o agente for totalmente dependente ($D_i = 1$), v_i^0 será igual a zero, o que pode representar pessoas com deficiências físicas graves ou bebês. Se $D_i = 0$ para todos os agentes, o modelo de Helbing é recuperado.

Uma das contribuições deste trabalho é a formação de grupos que deve ser levada em consideração no movimento dos indivíduos dentro da multidão visto que, dependendo da estrutura dos grupos, as ações individuais e coletivas podem ser afetadas. A formação de grupos está relacionada a uma força de altruísmo \overline{Fa}_i , a qual é implementada como uma interação entre dois ou mais agentes de uma mesma família. A força de altruísmo do agente i em relação ao agente j é dada pela expressão:

$$F\vec{a}_i = K \cdot \sum_j A_i D_j \left| \vec{d}_{ij} - \vec{d}_{ip} \right| \vec{e}_{ij} \quad (2)$$

Os efeitos de agrupamento causado pela força descrita na Equação 2 podem ser vistos na seqüência de imagens da Figura 6.12.

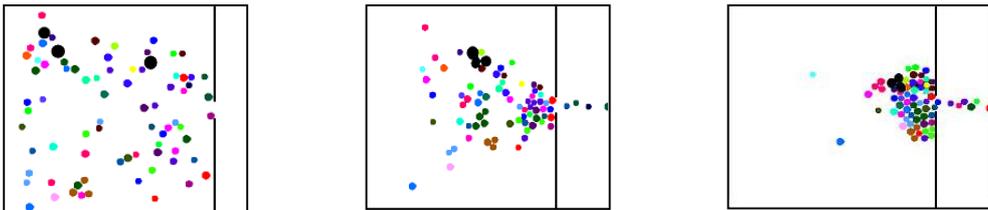


Figura 6.12. Seqüência de imagens representando o agrupamento entre agentes. Agentes de mesma família são representados pela mesma cor.

Esse modelo foi adaptado para ser utilizado em simulações de abandono de ambientes mais complexos, conforme Figura 6.13. Para que isso seja possível, o usuário deve definir a geometria do ambiente virtual, as características médias da população e seus desvios padrão e a posição das saídas.

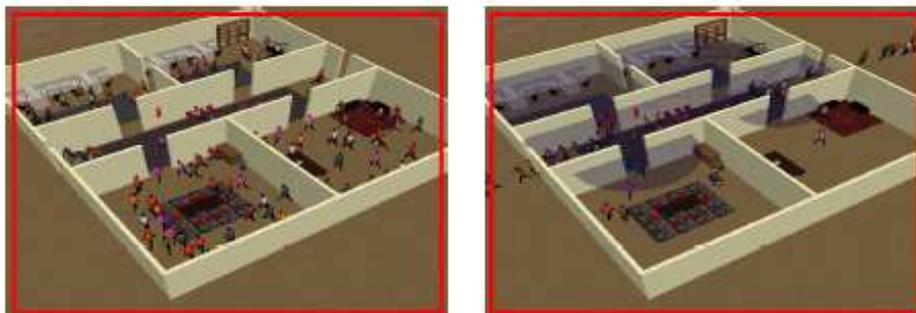


Figura 6.13. Resultados de simulações com ambientes virtuais mais complexos.

6.4.2 Modelos Comportamentais Humanos

O modelo comportamental proposto em ViCrowd (Musse, 2000) e nas pesquisas subseqüentes realizadas no laboratório CROMOS (Villamil, 2003; Evers, 2002, Braun 2003, Barros, 2004) levaram em conta vários aspectos oriundos de áreas como sociologia e psicologia social. O objetivo foi aproximar o modelo computacional de comportamento de grupos e multidões, a comportamentos investigados em áreas acima citadas. Alguns aspectos estudados foram categorizados em comportamentos de indivíduos ou grupos que eram interessantes para a modelagem computacional. Estes são descritos a seguir:

1) Aspectos Individuais:

- a. Espaço individual que visa estabelecer a privacidade das pessoas e seus confortos (Jeffrey, 1998)
- b. Comunicação entre indivíduos através de expressão oral ou não (Benesch 1985)
- c. Atração e repulsão ocorrem no nível das decisões individuais (Mannoni, 1985)
- d. Tornar-se líder, é resultado de uma característica individual e do grupo em que o indivíduo faz parte. Um líder é alguém que tentar influenciar ou guiar outros (Benesch 1985)

2) Aspectos de grupo:

- a. pessoas podem agrupar-se ou desagrupar-se em função de vários motivos. Um exemplo de causa de mudança da estrutura de um grupo é a baixa coesão (Villamil, 2003a). Neste caso, os membros do grupo tendem a trocar de grupo ou permanecerem sozinhos.
- b. Polarização pode ocorrer em grupos quando há a influência de 2 ou mais líderes (Benesch, 1985)

- c. Dominação é o efeito da influência do(s) líder(s) no grupo (Benesch, 1985)
- d. Adding é o efeito que ocorre em função da influência dos membros do grupo, que não são líderes (Benesch, 1985)
- e. Perda da individualidade ocorre quando membros de um grupo são capazes de fazer coisas que não fariam se estivessem sozinhos, assumindo o comportamento de grupo

Em ViCrowd, foi criado um modelo sociológico para modelar diversos aspectos individuais e de grupo (Musse, 1997). Seja A um humano virtual do Grupo A (GA) e B um do Grupo B (GB), os seguintes atributos de um agente foram modelados conforme explicado a seguir:

- i) Estado emocional (Status)
- ii) Liderança (leadership)
- iii) Intenção (intention)
- iv) A muda de grupo GA para o grupo GB

A.Status = Relationship(A, GA), A.Emotion, A.Leadership

A.Emotion = GA.Emotion

Relationship(A, GA) = Normalised_value

Where, N = number of agents of GA

A.Leadership = random(GA.Leadership-0.2, GA.Leadership+0.2)

A.Intention = A.Communicative, A.ChangeGroups, A.BeLeader

A.BeLeader = A.Leadership > 0.7? TRUE

A.Leadership <= 0.7? FALSE

A.ChangeGroups = random(TRUE, FALSE)

A.Communicability = GA.Communicability

Usando esses parâmetros, agents podem mudar de grupos (de GA para GB) se:

- i) Relationship(A, GA) < Relationship(A, GB): *if the relationship between A and GA is smaller than between A and GB.*
- ii) A.ChangeGroups = TRUE: *if A has the intention to change groups.*
- ii) A.BeLeader = FALSE: *if A is not the leader of GA.*

6.5 Aplicações de Ambientes Virtuais Interativos e Inteligentes

Nesta seção serão apresentados exemplos de Ambientes Virtuais Interativos e Inteligentes que tem por objetivo apresentar uma visão geral da área através da descrição de um conjunto de trabalhos de pesquisa relacionados a este tema.

Um agente virtual inteligente, STEVE (*Soar Training Expert for Virtual Environment*), que atua como tutor em cursos de treinamento é proposto por Rickel and Johnson (1997). O treinamento acontece em um espaço tridimensional interativo, onde STEVE auxilia o usuário no aprendizado de uso de um equipamento. As Figuras 6.14(a) e (b) ilustram o agente STEVE no ambiente em que atua.

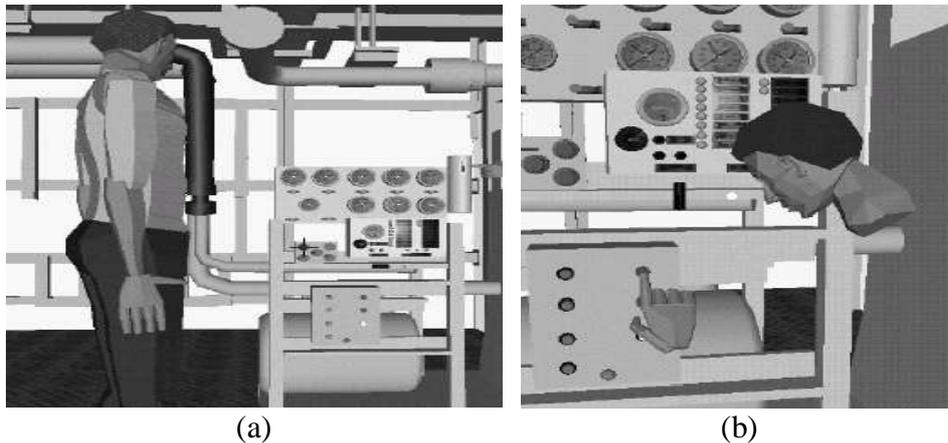


Figura 6.14. (a) STEVE ao lado de um equipamento; (b) STEVE demonstrando como utilizar o equipamento (Rickel and Johnson, 1997).

Bersot et al (1998) apresentam Ulysses, um agente de conversação inserido em um ambiente virtual. O agente auxilia os usuários na navegação pelo ambiente e aceita comandos, em linguagem natural, para a manipulação de objetos. Além da movimentação da representação gráfica do agente pelo ambiente, é utilizado um sintetizador de fala para responder as solicitações do usuário. As Figuras 6.15(a) e (b) ilustram a movimentação do agente pelo ambiente.

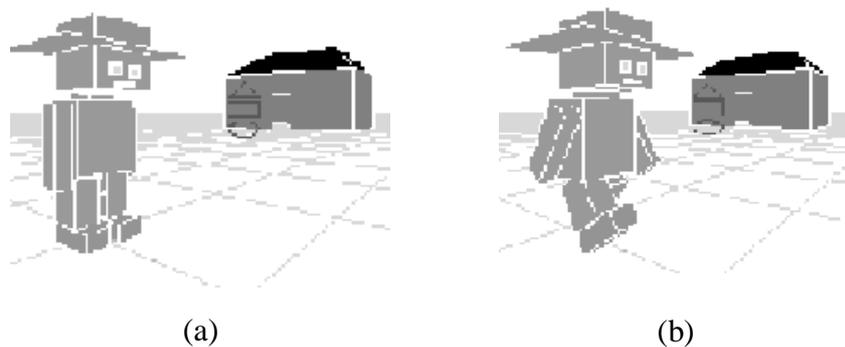


Figura 6.15. Agente Ulysses caminhando pelo ambiente (Bersot et al, 1998).

Um guia virtual, George, que conduz visitantes a lugares relevantes em uma universidade virtual, de acordo com as necessidades de informação dos mesmos, bem como apresenta documentos multimídia apropriados, é proposto por Panayiotopoulos et al (1999). O agente virtual se comunica com os usuários, os quais podem indicar suas necessidades de informação através de linhas de comando. As Figuras 6.16(a) e (b) apresentam a interface de entrada ao ambiente e a movimentação do agente.

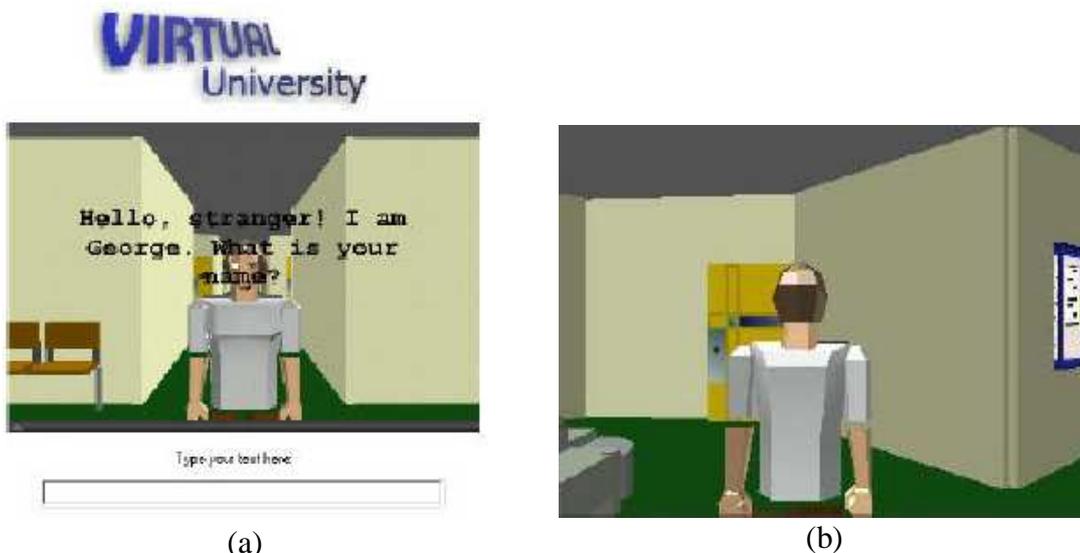


Figura 6.16. (a) Interface de entrada ao ambiente; (b) Agente se deslocando no ambiente (Panayiotopoulos et al, 1999).

Noll et al (1999) apresentam o GuideAgent, um agente virtual cujas tarefas são navegar através de um ambiente tridimensional, fornecer informações sobre os objetos, os usuários e o próprio ambiente, e auxiliar o usuário na exploração do mesmo. O agente e os usuários são representados graficamente no ambiente e o agente é capaz de modelar o comportamento e as preferências do usuário.

Um teatro virtual é apresentado por Nijholt and Hulstijn (2000). No ambiente, construído em VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), os usuários podem navegar, visitando salas de concerto e admirando quadros, e interagir com um agente virtual informacional. O agente possui informações sobre shows, músicos e ingressos, comunica-se com o usuário através de diálogo em linguagem natural, e apresenta diferentes expressões faciais. O agente pode, ainda, auxiliar o usuário na navegação pelo ambiente. As Figuras 6.17(a) e 6.17(b) apresentam a interface externa do teatro e o agente virtual, respectivamente.



Figura 6.17. (a) Entrada teatro virtual; (b) Agente virtual (Nijholt and Hulstijn 2000).

O sistema “Lokutor”, proposto por Milde (2000), é um ambiente tridimensional onde um agente de apresentação comunica-se com o usuário através de diálogo em linguagem natural. A tarefa do agente é apresentar produtos aos usuários, atuando como um assistente de venda. A entrada em linguagem natural é analisada por um *parser*, responsável por extrair características relevantes do diálogo e repassá-las a um sistema deliberativo, encarregado pela definição do comportamento do agente e determinação da próxima ação. Os aspectos de diálogo do agente estão baseados na utilização de um manual do produto. A Figura 6.18 ilustra a seqüência de ações do agente durante a apresentação de um produto ao usuário.

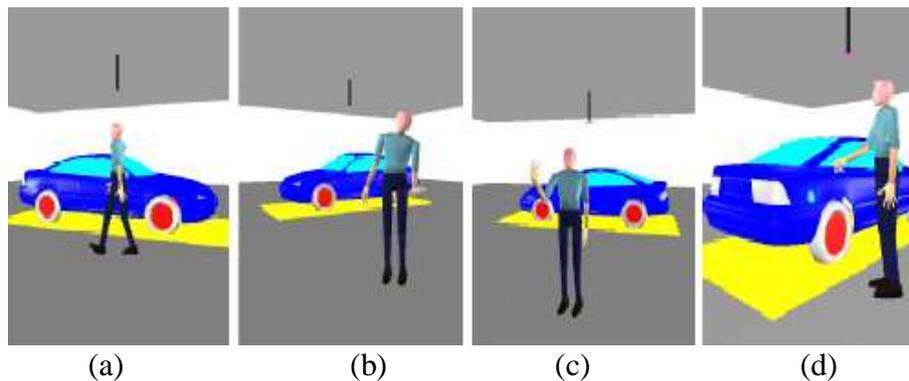


Figura 6.18. Apresentação do produto pelo agente (Milde, 2000).

Anastassakis et al (2001) apresentam um ambiente habitado por agentes que o exploram, localizam itens específicos, interagem uns com os outros e respondem a instruções do usuário (como por exemplo, ir a um determinado local). No protótipo apresentado, o qual consiste em uma biblioteca virtual construída em VRML, dois agentes (cliente e bibliotecário) se comunicam. O agente cliente requisita informações sobre livros ao agente bibliotecário, responsável por localizar e apresentar o item desejado. A Figura 6.19 apresenta a interface do ambiente prototipado.



Figura 6.19. Interação entre agentes cliente e bibliotecário (Anastassakis et al, 2001).

Uma metodologia para navegação e exploração de ambientes virtuais tridimensionais é descrita por Frery et al (2002). São utilizados avatares como guias interativos, que possuem estratégias de navegação baseadas na informação que detém

sobre o ambiente. A inteligência dos avatares é representada através dos seus comportamentos e do conhecimento que possuem do ambiente e do usuário. Com base no conhecimento sobre o usuário, coletado a partir de formulários, é feita a estruturação do conteúdo a ser apresentado e a modificação da representação gráfica dos avatares.

A aplicação de um AVI no tratamento de crianças hiper-ativas é apresentada por Rizzo et al (2002). O ambiente consiste de uma sala virtual tridimensional onde um avatar representa uma professora e objetos se movimentam pelo ambiente. O uso de um dispositivo para imersão no ambientes (HMD - *Head Mounted Display*) permite monitorar os movimentos da criança, detectando o seu campo de visão. Os dados coletados a partir da monitoração são utilizados para análise do comportamento da criança. A Figura 6.20 ilustra a sala de aula virtual.



Figura 6.20. Sala de aula virtual (Rizzo et al, 2002).

Além da sala de aula virtual, Rizzo et al (2002) utilizam um escritório virtual com diversos objetos dinâmicos (telefones que tocam, computadores e vários avatares), para a verificação de aspectos cognitivos (memória, percepção e atenção) dos seus usuários. Os avatares, que se movimentam pelo ambiente, representam supervisores e chefes, e podem solicitar ao usuário a realização de determinada atividade no ambiente. O dispositivo HMD é utilizado para monitorar os movimentos do usuário na realização das atividades. Além disso, o ambiente é modificado e os aspectos de percepção do usuário quanto às modificações são coletados. A Figura 6.21 ilustra as várias configurações do escritório virtual.



Figura 6.21. Várias configurações do escritório virtual (Rizzo et al, 2002).

Um ambiente virtual tridimensional adaptativo, desenvolvido em VRML, é apresentado por Chittaro and Ranon (2002, 2002a). No ambiente, que consiste em uma

loja virtual, os usuários podem navegar e obter informações sobre os produtos nele espalhados. As informações sobre os interesses e características dos usuários, utilizadas para a personalização do ambiente, são coletadas através de formulários e monitoração das ações do usuário no ambiente (tais como produtos visualizados e compras efetuadas). Objetos que se deslocam no ambiente auxiliam o usuário na navegação e localização de produtos específicos. As Figuras 6.22 apresentam as adaptações no ambiente e os objetos que trafegam pelo mesmo.



Figura 6.22. Adaptações na loja virtual (Chittaro and Ranon, 2002; 2002a).

Em um trabalho recente, Chittaro et al (2003), apresentam um agente virtual designado a auxiliar o usuário na navegação por um museu virtual. A partir da descrição dos lugares ou objetos de interesse a serem visitados no museu, o agente cria uma trajetória apropriada. Além disso, o agente está apto a parar durante o trajeto e apresentar cada objeto ou lugar. As Figuras 6.23(a) e (b) apresentam o agente em uma explicação sobre um dos objetos do ambiente e uma trajetória criada, respectivamente.

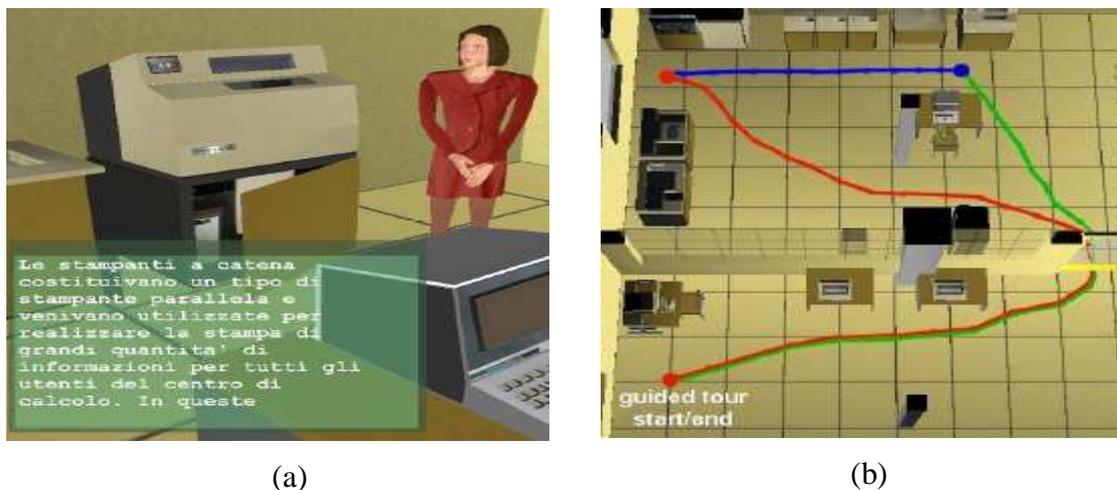


Figura 6.23. (a) Agente explicando sobre o objeto; (b) Trajetória elaborada para a navegação pelo ambiente (Chittaro et al, 2003).

Os AVs também têm sido utilizados como uma ferramenta para a experimentação de técnicas associadas à Robótica. Heinen e Osório (2002b) utilizam um ambiente virtual (Figura 6.24) para a simulação de um sistema de controle híbrido para robôs móveis autônomos. Para a validação do sistema proposto, foi implementado um simulador de robôs móveis (SimRob3D) que permite a utilização de diferentes modelos de ambiente tridimensionais, bem como a aplicação de diversos modelos sensoriais e cinemáticos associados aos robôs.

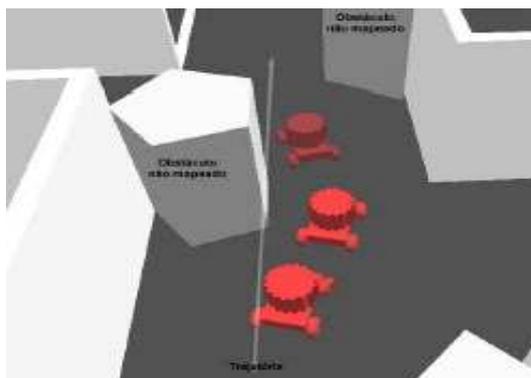


Figura 6.24. Simulador SimRob3D (HEINEN AND OSÓRIO, 2002).

Outros exemplos de utilização de AVIs serão discutidos na próxima seção quando trataremos de estudos de casos realizados em pesquisas desenvolvidas pelos autores.

6.6 Estudos de Casos em AVII

6.6.1 AdapTIVE

O AdapTIVE (*Adaptive Three-dimensional Intelligent and Virtual Environment*) é um ambiente virtual adaptativo baseado em modelos de usuário e conteúdo, que utiliza agentes inteligentes como assistentes dos usuários na navegação pelo ambiente e localização de informações relevantes (Santos 2004a). Neste ambiente, é dado suporte a dois tipos de usuários: requerentes e provedores. Os usuários, representados por avatares, podem explorar o ambiente e solicitar auxílio ao agente virtual, para a navegação e localização de informações. Os conteúdos são agrupados conforme as áreas a que pertencem e possuem um modelo. Os modelos de conteúdos, de requerentes e de provedores são usados na adaptação do ambiente. Esta adaptação envolve a personalização da apresentação e da estrutura do ambiente, onde os conteúdos de interesse do usuário são colocados, em uma ordem de visualização, mais próximos do que os conteúdos que não são de interesse.

Os modelos dos usuários (requerentes e provedores) contêm informações sobre os interesses, preferências e comportamentos dos mesmos. Para a coleta dos dados utilizados na composição do modelo, são usadas as abordagens explícita e implícita. Na abordagem explícita, são aplicados questionários (para a coleta de dados, tais como nome e áreas de interesse), e na abordagem implícita são feitas observações da navegação no ambiente e verificação da interação com o agente (cujas informações serão

registradas através do uso de sensores). A abordagem explícita é adotada para a aquisição de dados para composição de um modelo inicial, sendo a implícita aplicada para a atualização deste modelo. Um módulo, gerenciador de modelos de usuários, é o responsável pela inicialização e atualização dos modelos, a partir das informações repassadas pelo usuário e sensores, respectivamente.

Os conteúdos adicionados pelo provedor, são gerenciados pelo módulo gerenciador de conteúdos e mantidos em uma base de conteúdos. Cada conteúdo contém um modelo associado (modelo de conteúdo), com informações referentes à área ao qual pertence, tipo de mídia, palavras-chave que o caracterizam, entre outras. O provedor, auxiliado por um processo de categorização automático de conteúdos textuais, atua na definição deste modelo.

A representação das informações no ambiente é feita através de componentes 3D, tais como objetos gráficos com hiperlinks para descrições mais detalhadas. Um módulo, gerador de ambientes, é o responsável pela geração das estruturas 3D que formam o ambiente, permitindo a construção de diferentes ambientes, de acordo com os modelos de usuário e de conteúdo. Além disso, este módulo repassa ao agente virtual as informações referentes aos modelos dos usuários que estão interagindo com o ambiente e informações sobre os conteúdos e suas localizações, de forma que ele possua informações suficientes para o auxílio aos usuários.

Para validar o AdapTIVE, foi desenvolvido um protótipo de um ambiente de apoio a educação a distância, utilizado para a disponibilização de conteúdos educacionais. Neste ambiente, foi adotada uma divisão do mesmo, conforme as áreas do conhecimento dos conteúdos. A cada área estão associadas sub-áreas, representadas como sub-ambientes. Para o protótipo foram selecionadas as seguintes áreas e sub-áreas: Inteligência Artificial (IA) – Redes Neurais, 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, Projeto e Qualidade de Software. A cada área está associada uma sala e as sub-áreas estão representadas como sub-salas. As Figuras 6.25(a) e (b) apresentam interfaces do protótipo que ilustram a divisão do ambiente em salas e sub-salas.

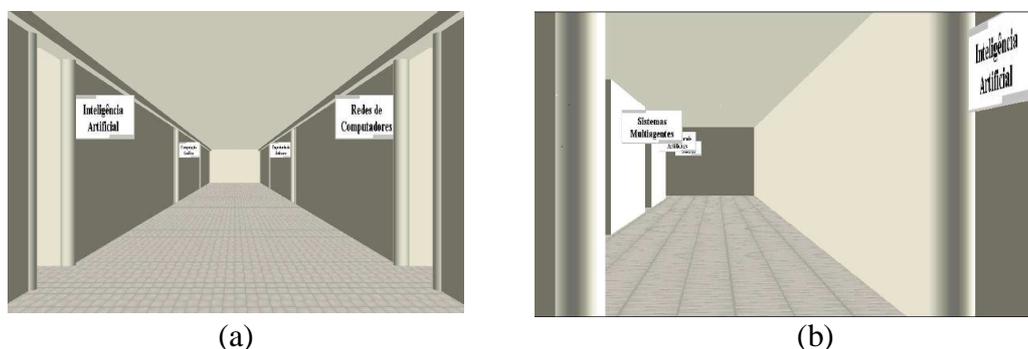


Figura 6.25. (a) Salas do ambiente; (b) Sub-salas do ambiente.

Conforme o modelo do usuário, a re-organização destes sub-ambientes é feita: as salas que correspondem as áreas de interesse do usuário são colocadas, em uma ordem de visualização, antes das salas cujos conteúdos não são de interesse. Deste modo, não

são eliminados do ambiente os conteúdos que não são de interesse do usuário, mas sim enfatizados os de interesse, permitindo que o usuário tenha a liberdade para visualizar conteúdos diversos. O modelo inicial do usuário é usado na organização inicial do ambiente. Cabe destacar que são consideradas as preferências de cores na adaptação do ambiente. As Figuras 6.26(a) e 6.26(b) representam exemplos de adaptações iniciais da estrutura do ambiente. No ambiente da Figura 6.26(a), o usuário (de gênero feminino) tem interesse pela área de IA e no ambiente ilustrado na Figura 6.26(b), o usuário (de gênero masculino) tem interesse pela área de CG.

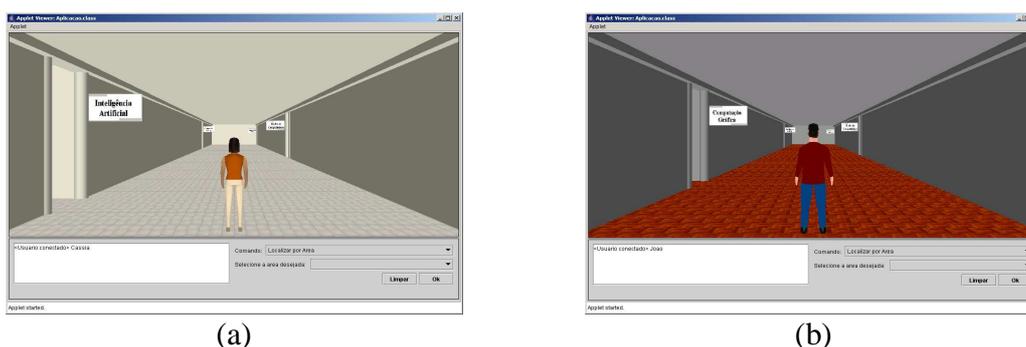


Figura 6.26. (a) Usuário com interesse em IA; (b) Usuário com interesse em CG.

À medida que o usuário interage com o ambiente, as evidências de navegação, solicitação e acesso aos conteúdos são coletadas e utilizadas no processo de atualização do modelo do usuário. Após n sessões (janela de tempo ajustável), para cada área, conforme as evidências coletadas, as regras são aplicadas e são calculados os FCs correspondentes. A partir da ordenação dos FCs, é feito um novo ranking das áreas de interesse do usuário e, deste modo, é feita a re-organização do ambiente (as alterações no ambiente são sugeridas ao usuário e apenas realizadas se autorizadas pelo mesmo).

Em relação a manipulação de conteúdos no ambiente, o modelo do provedor é usado para indicar a área (Inteligência Artificial, por exemplo) que pertence o conteúdo que está sendo inserido, e o processo de categorização automático indica a sub-área correspondente, ou seja, a sub-sala onde o conteúdo deve ser inserido. Desta forma, a disposição espacial dos conteúdos é feita automaticamente pelo gerador de ambiente, a partir da categoria do conteúdo. Para o protótipo, foram coletados trinta exemplos de cada sub-área, a partir dos mecanismos de busca da web, para o aprendizado e validação do categorizador. Em um conjunto de experimentos preliminares (detalhes em (Santos e Osório, 2003)), conduzidos com as Árvores de Decisão (ADs), com algoritmo C4.5, e as Redes Neurais Artificiais (RNAs), com algoritmos Backpropagation e Cascade-Correlation, as ADs apresentaram menores taxas, e foram selecionadas para uso no categorizador proposto. Deste modo, para cada sub-área, as regras obtidas da árvore de decisão (C4.5) foram convertidas para regras do tipo IF-THEN e associadas ao módulo gerenciador de conteúdos.

Em relação a interação entre o usuário e o agente, o usuário pode selecionar a solicitação que deseja emitir ao agente, em uma lista de opções, simplificando a comunicação. As respostas do agente são listadas em uma interface correspondente e sintetizadas para voz. As Figuras 6.27(a), (b), (c) e (d) ilustram, respectivamente: uma solicitação do usuário para a localização de determinada informação (agente se

deslocando); a localização de uma área pelo agente; a visualização de um conteúdo, pelo usuário; e a visualização de detalhes de um conteúdo, após clique na descrição correspondente.

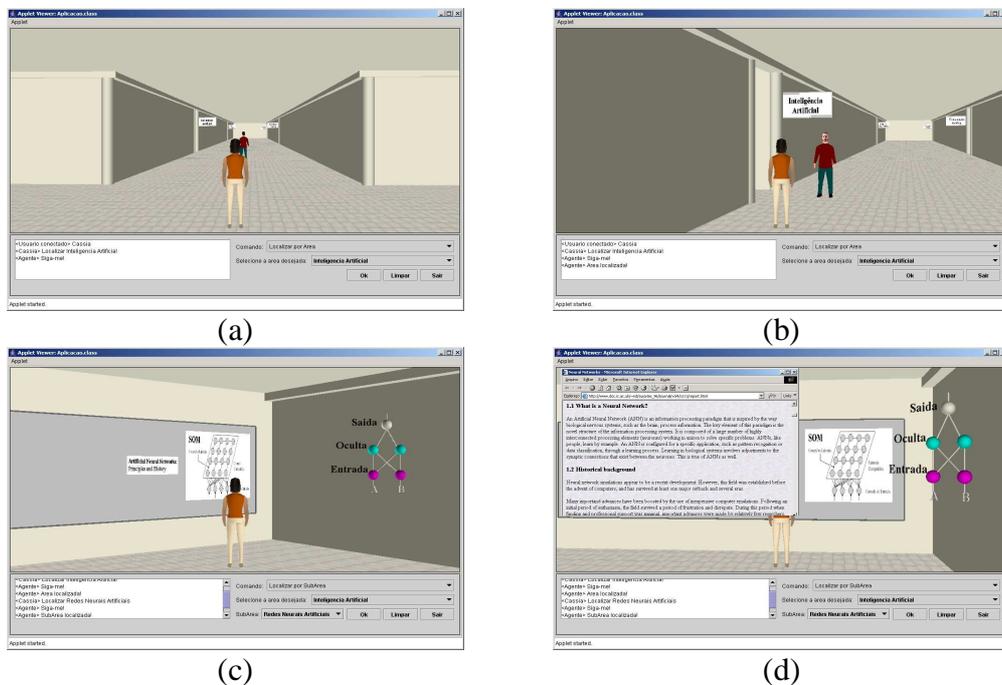


Figura 6.27. (a) Solicitação do usuário; (b) Localização de uma área pelo agente; (c) Visualização de conteúdos; e (d) Visualização de detalhes de um conteúdo.

6.6.2 Simulação de Humanos Virtuais

Vários projetos tem sido desenvolvidos no âmbito do Laboratório CROMOS. O projeto que deu origem a estes trabalhos foi ViCrowd (Musse, 2001), sucintamente apresentado neste documento. A partir de então, vários modelos e protótipos tem sido desenvolvidos com ênfase em modelagem e animação de humanos virtuais e temas correlatos, como ambientes virtuais inteligentes, modelagem de humanóides, arquiteturas comportamentais e etc.

Seguem abaixo sucintas descrições dos modelos desenvolvidos no âmbito do laboratório CROMOS desde sua criação em 2001.

- i) *Modelagem de comportamentos sociais de grupos de humanos virtuais* (Villamil, 2003). O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um modelo para descrição de comportamentos emergentes de grupos de humanos virtuais que se formam a partir de uma progressão social. Os agentes possuem algumas habilidades iniciais e adquirem novas a partir do momento que interagem com outros agentes. Um resultado prático desta dissertação é a implementação de um motor para tratamento de grupos de humanos virtuais e comportamentos emergentes em jogos (Villamil, 2003).

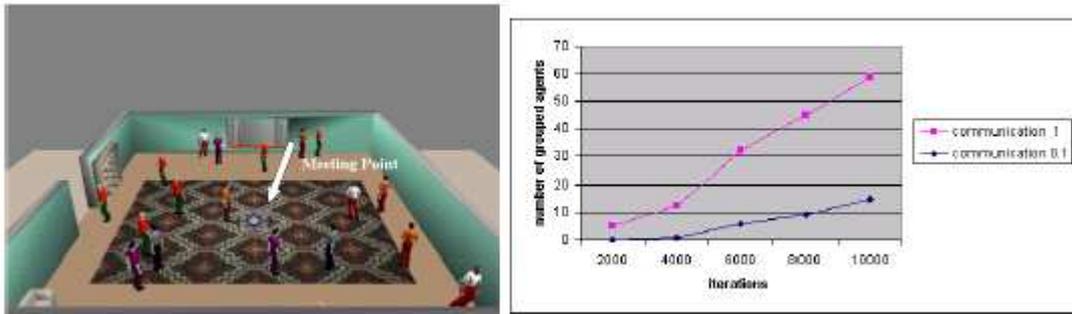


Figura 6.28. Imagem de uma animação que ilustra a progressão social de agentes que inicialmente possuem comportamentos aleatórios e que adquirem habilidades no decorrer da simulação (a mais evoluída das habilidades adquiridas é o agrupamento). À direita, o gráfico aponta que o número de agentes agrupados cresce conforme aumentam suas habilidades de comunicar-se.

- ii) *Avaliação do impacto de terem-se humanos virtuais providos com memórias artificiais nas multidões simuladas comportamentalmente* (Evers, 2003). Os agentes tratados no ViCrowd, bem como em outros modelos tratados no Laboratório CROMOS, não possuíam memória. O modelo de memória implementado neste trabalho incluiu memória de curtos e longos termos, concluindo com aprendizado por case-reasoning. Como ponto de alto interesse no trabalho, verificou-se a possibilidade da modelagem de traumas, através de agentes que vivenciam situações estressantes onde isso atrapalha seus estados emocionais. A Figura 6.29 mostra uma imagem de uma simulação feita no Prédio 6B da UNISINOS, onde é o Mestrado em Computação Aplicada.



Figura 6.29. Imagem de simulação de multidões onde os agentes são providos com memórias artificiais.

- iii) *Modelagem de Simulação de multidões baseada em física* (Braun, 2003). Este trabalho foi baseado no modelo de Helbing (2000) onde cada pessoa participante da multidão é uma partícula num sistema de partículas homogêneas. O trabalho desenvolvido no CROMOS estendeu o modelo de Helbing para incluir principalmente individualidades às partículas de maneira

que elas possam representar pessoas que são diferentes entre si. A investigação foi feita de maneira a avaliar o impacto das individualidades e prover simulações em ambientes mais complexos. A Figura 6.11 (seção 6.4.1) ilustra uma imagem de uma simulação de emergência.

- iv) *Geração semi-automática de cidades virtuais baseada em informações semânticas* (Marson, 2003). Este trabalho tem por objetivo gerar de maneira semi-automática uma cidade virtual não completamente fictícia. A idéia é que se parta de mapas de cidades reais e que a partir das quadras obtidas por processamento e segmentação de imagens, se construa lotes e edificações baseados em informações como densidade populacional, tipo de zona (industrial, residencial) e classe da população (A,B,C,D).



Figura 6.30. Imagem de simulação utilizando uma cidade e informações semânticas, gera a partir de um mapa de uma cidade real.

- v) *Simulador de Emergências baseado em Máquinas de Estados Finitos (FSM)* (Barros, 2004). Este trabalho visou implementar um framework de simulação de multidões em situações de emergência para ser aplicado em comunidades que habitam próximas as instalações da Petrobras. Os agentes são comportamentalmente diferentes dados os perfis relatados na bibliografia de sistemas de segurança. A Figura 6.31 ilustra uma situação de emergência simulada no framework PetroSim.



Figura 6.31. Imagens de simulação de emergência na Comunidade São José, como parte do convênio com a Petrobras.

- vi) *Implementação da Simulação de Multidões em GPU* (Graphics Processing Units). Este trabalho descreve uma implementação em GPU do modelo de Helbing para simulação de multidões baseada em física. A Figura 6.32 ilustra resultados visuais destas simulações.

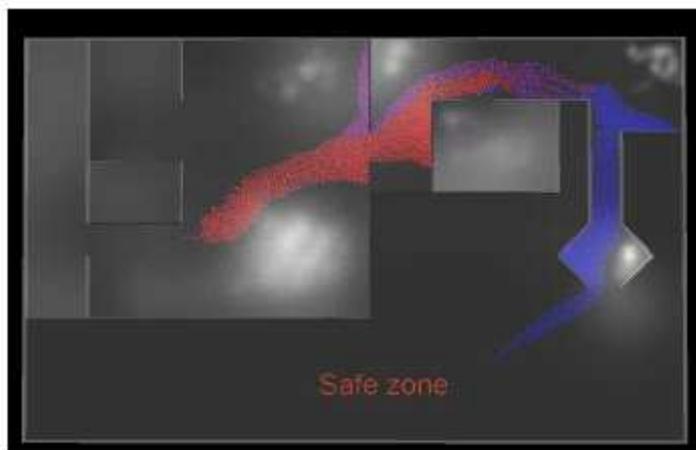


Figura 6.32. Imagens de simulação de emergência com 4000 pessoas e tratamento de fumaça com 25 FPS.

6.7 Conclusão

Os Ambientes Virtuais Inteligentes abrangem um campo de pesquisa que combina as tecnologias para a construção de ambientes 3D e Inteligência Artificial/Vida Artificial. Este campo envolve diferentes grupos de pesquisa concentrados em diversos aspectos gráficos do ambiente e da inteligência embutida neste. De um lado, os pesquisadores de Computação Gráfica estão interessados em tornar os seus ambientes mais dinâmicos e realísticos, visto que ambientes imutáveis e com animações pré-definidas que não se alteram ao longo das interações com o usuário, podem limitar o interesse do mesmo. Por outro lado, os pesquisadores de IA e VA estão reconhecendo os AVs como uma opção para testar suas técnicas. Por exemplo, sistemas tutores podem explorar o uso de personagens tutores e interfaces inteligentes multi-modais, em lugar das interfaces bidimensionais. Além disso, a simulação de comportamentos sociais de animais a partir de ambientes virtuais tem sido proposta. As técnicas que visam atribuir inteligência aos ambientes vêm sendo aplicadas em diferentes níveis e componentes. Elas podem estar associadas aos agentes ou objetos do ambiente, às interações com o usuário, à arquitetura do ambiente ou à forma como o ambiente se estrutura a partir das características de seus usuários, conforme discutido neste trabalho.

Neste mini-curso foi apresentada uma visão geral sobre os AVIs, comentando algumas das principais abordagens utilizadas na construção de ambientes aplicados à simulação, entretenimento e educação. Foram enfatizados o uso de agentes inteligentes e os efetivos meios de comunicação entre o usuário e o ambiente. Foi apresentado o AdapTIVE, um ambiente virtual inteligente que tem a sua estrutura e apresentação adaptadas de acordo com modelos de usuário e de conteúdo, bem como dois estudos de casos práticos. Além disso, apresentaram-se as pesquisas realizadas no âmbito do Laboratório CROMOS em simulação de grupos e multidões de humanos virtuais em

ambientes complexos e informados. Por fim, os Ambientes Virtuais Inteligentes correspondem a um amplo e diversificado campo de pesquisa que têm permitido a exploração de novas e avançadas formas de simulação, entretenimento e educação

Referências

- Anastassakis, G.; Ritching, T.; Panayiotopoulos, T. (2001) "Multi-agent Systems as Intelligent Virtual Environments". LNAI 2174, 381-395.
- Aylett, R. and Luck, M. (2000) "Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent Virtual Environments". Applied Artificial Intelligence, v. 14, n. 1, p. 3-32.
- Aylett, R. and Cavazza, M. (2001) "Intelligent Virtual Environments – A state of the art report". Eurographics Conference, Manchester, UK.
- Bandi, S. and Thalmann, D. (1998) "Space Discretization for Efficient Human Navigation". Computer. Graphics Forum, v. 17, n.3, p.195-206.
- Bandi, S. and Thalmann, D. (2000) "Path finding for human motion in virtual environments". Computational Geometry: Theory and Applications, v. 15, n. 1-3, p. 103-127.
- Barros, L., Silva, A., Musse, S. (2004) "PetroSim: An Architecture to Manage Virtual Crowds in Panic Situations", in CASA 2004 – Computer Animation and Social Agents, Geneva, Switzerland, 2004 (to appear).
- Benesh, H. (1995) "Atlas de la Psychologie. Encyclopédies d’Aujourd’hui". Librairie Générale Française.
- Bersot, O.; Guedj, P.; Godéreaux, C.; Nugues, P. (1998) "A Conversational Agent to Help Navigation and Collaboration in Virtual Worlds". Virtual Reality, v. 3, n. 1, p. 71-82.
- Borenstein J. and Koren Y. (1991) "The Vector Field Histogram – Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots". IEEE Journal of Robotics and Automation, 7(3): 278-288.
- Bouvier, E.; Cohen, E; Najman, L. (1997) "From Crowd Simulation to Airbag Deployment: Particle System, a New Paradigm of Simulation". Journal of Electronic Imaging. pp 94-107.
- Braun, A.; Musse, S.; Oliveira, L.; Bodmann, B. (2003) "Modeling Individual Behaviors in Crowd Simulation". Proceedings of the Computer Animation and Social Agents, p. 143-148, May, New Jersey, USA.
- Brenner, W.; Zarnekow, R.; Witting, H. (1998) "Intelligent Software Agents: Foundations and Applications". Springer-Verlag.
- Cassel, J. (2000) "Embodied Conversational Agents". MIT Press, Boston.
- Cavazza, M.; Bonne, J.; Pouteau, X.; Pernel, D.;Prunet, C. (1995) "Virtual Environments for Control and Command Applications". Proceedings of the FIVE'95 Conference, London.
- Cavazza, M and Palmer, I. (1999) "Natural Language Control of Interactive 3D Animation and Computer Games". Virtual Reality, v. 4, p. 85-102.
- Cavazza, M.; Charles, F.; Mead, S.; Strachan, A. (2001) "Virtual Actors' Behaviour for 3D Interactive Storytelling". Proceedings of the Eurographics Conference.
- Cavazza, M.; Charles, F.; Mead, S. (2002) "Under the Influence: using Natural Language in Interactive Storytelling". International Workshop on Entertainment Computing. Makuhari, Japan.
- Chittaro L. and Ranon R. (2000) "Adding Adaptive Features to Virtual Reality Interfaces for E-Commerce". Proceedings of the International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, Lecture Notes in Computer Science 1892, Springer-Verlag, Berlin, August.

- Chittaro, L. and Ranon, R. (2000a) "Virtual Reality stores for 1-to-1 e-commerce". Proceedings of the Workshop on Designing Interactive Systems for 1-to-1 E-Commerce, The Hague, The Netherlands.
- Chittaro, L. and Ranon, R. (2002) "New Directions for the Design of Virtual Reality Interfaces to E-Commerce Sites". Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Visual Interfaces, ACM Press, New York, May.
- Chittaro, L. and Ranon, R. (2002) "Dynamic Generation of Personalized VRML Content: a General Approach and its Application to 3D E-Commerce". Proceedings of the 7th International Conference on 3D Web Technology, ACM Press, New York, 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.
- Clay, S. and Wilhems, J. (1996) "Put: Language-Based interactive Manipulation of Objects". IEEE Computers Graphics and Applications, v. 6, n. 2, p. 31-39.
- Correa, Filho. (1994) "A arquitetura de diálogos entre agente cognitivos distribuídos". Rio de Janeiro: UFRJ (Tese de doutorado).
- Demazeau, Y. (1995) "From Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems". Proceedings of the 1st. European Conference on Cognitive Science, Saint-Malo, France.
- Donikian, S. (1994) "The Virtual Museum". Disponível em http://www.irisa.fr/prive/donikian/virtual_museum.html. (Janeiro 2004).
- Doyle, P. and Hayes-Roth, B. (1997) "Agents in Annotated Worlds". Report No. KSL 97-09, December.
- Elfes A. (1987) "Sonar-Based Real-World Mapping and Navigation". IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-3(3):249-265.
- Elfes A. (1989) "Occupancy Grids: A Probabilistic Framework for Robot Perception and Navigation". PhD Thesis, Carnegie Mellon University.
- Evers, T., and Musse, S. (2002) "Building Artificial Memory of Autonomous Agents Using Dynamical and Hierarchical Finite State Machine". In Computer Animation, Geneva, Switzerland. June 2002.
- Evers, T. (2003) "Simulação de Multidões de Humanos Virtuais baseada em Memórias Artificiais". São Leopoldo: UNISINOS (Dissertação de Mestrado).
- Farenc, N.; Boulic, R.; Thalmann, D. (1999) "An Informed Environment dedicated to the simulation of virtual humans in urban context". EUROGRAPHICS, v. 18, n. 3.
- Ferreira, F; Gelatti, G.; Musse, S. (2002) "Intelligent Virtual Environment and Camera Control in Behavioural Simulation". SIBGRAPI, p. 365-372, Fortaleza, Brazil, October.
- 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.
- Franklin, S. and Graesser, A. (1996) "Is it an agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agents". Proceedings of the 3rd International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Springer-Verlag, Berlin.
- Frozza, R. (1997) "Simula – Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes Reativos". Porto Alegre: UFRGS (Dissertação de mestrado).

- Garcia, A. and Sichman, J. (2003) "Agentes e sistemas multiagentes". In: Rezende, S. *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*. Barueri, SP: Manole. cap. 11, p. 269-306.
- Giarrato, J. and Riley, G. (1998) "Expert Systems – Principles and Programming". 3 ed., PWS, Boston.
- Giraffa, L. (1997) "Seleção e Adoção de Estratégias de Ensino em Sistemas Tutores Inteligentes". Porto Alegre: UFRGS (Proposta de tese de doutorado).
- Goodwin, R. (1994) "Formalizing Properties of Agents". Technical Report, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburg, PA, September.
- Grand, S. and Cliff, D. (1998) "Creatures: Entertainment software agents with artificial life". *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, v. 1, n. 1, p. 39-57.
- Gratch, J.; Rickel, J.; Andre, E.; Badler, N.; Cassell, J.; Petajan, E. (2002) "Creating Interactive Virtual Humans: Some Assembly Required". *IEEE Intelligent Systems*, v. 17, n. 4 (Special issue on AI in Interactive Entertainment).
- Grzeszczuk, R.; Terzopoulos, D.; Hinton, G. (1998) "NeuroAnimator: Fast neural network emulation and control of physics-based models". *Proceedings of the SIGGRAPG'98 Conference*, July.
- Halsall, F. (2000) "Multimedia Communication: Applications, Networks, Protocols". Addison Wesley. 1054 p.
- Hayes-Roth, B. (1995) "An architecture for adaptive intelligent systems". *Artificial Intelligence (Special Issue on Agents and Interactivity)*, v. 72, pp. 329-365.
- Haykin, S. (2001) "Redes Neurais: Princípios e Prática". 2 ed. Bookman.
- Heinen, F. (2000) "Robótica Autônoma: Integração entre Planificação e Comportamento Reativo". Editora Unisinos. Disponível em <http://ncg.unisinos.br/robotica/livro.htm>.
- Heinen, F. and Osório, F. (2002) "Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos". *Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial*, Porto de Galinhas, PE.
- Heinen, F. (2002a) "Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos". São Leopoldo: UNISINOS (Dissertação de Mestrado).
- Heinen, F. and Osório, F. (2002b) "HyCAR - A Robust Hybrid Control Architecture for Autonomous Robots". *HIS 2002 - Hybrid Intelligent Systems*, 2002, Santiago, Chile.
- Helbing, D.; Farkas, I.; Vicsek, T. (2000) "Simulating Dynamical Features of Escape Panic". *Nature*, v. 407, pp. 487-490.
- Jennings, N. and Wooldridge, M. (1996) "Software Agents". *IEE Review*, January.
- Kallmann, M. and Thalmann, D. (1998) "Modeling Objects for Interaction Tasks". *Proceedings of the Eurographics Workshop on Animation and Simulation*.
- Kallmann M. and Thalmann, D. (1999) "A Behavior Interface to Simulate Agent-Object Interactions in Real-Time". *Proceeding of Computer Animation*, IEEE Computer Society Press, p. 138-146.
- Kallmann, M.; Monzani, J.; Caicedo, A.; Thalmann, D. (2000) "ACE: A Platform for the Real Time Simulation of Virtual Human Agents". *Proceedings of the EGCAS '2000*, p. 73-84.
- Kawamoto, A. (2001) "AVC-MV: Um Ambiente Virtual Colaborativo para Aplicações Educacionais". *SVR – IV Symposium on Virtual Reality*. Florianópolis.
- Kobsa, A. (1995) "Supporting User Interfaces for All Through User Modeling". *Proceedings HCI International*, Japan.

- Kuffner, J. (1998) "Goal-Directed Navigation for Animated Characters Using Real-Time Path Planning and Control". Workshop on Modeling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1537, Springer-Verlag, Berlin, p. 171-187.
- Kuiper B. and Byun Y. (1991) "A Robot Exploration and Mapping Strategy Based on a Semantic Hierarchy of Spatial Representations". Robotics and Autonomous Systems 8, pp. 47-63.
- Latombe, J. (1991) "Robot Motion Planning". Kluwer Academic Publisher, Boston, MA.
- Maes, P. (1994) "Modeling Adaptive Autonomous Agents". Artificial Life Journal.
- Marson, F., Jung, C. and Musse, S. (2003) "Modelagem Procedural de Cidades Virtuais". In SVR - Simpósio Brasileiro de Realidade Virtual, Ribeirão Preto, Brazil, October 2003.
- Mead, S. Cavazza, M.; Charles, F. (2003) "Influential Words: Natural Language in Interactive Storytelling". 10th International Conference on Human-Computer Interaction, Crete, Greece.
- Milde, J. (2000) "The instructable Agent Lokutor". Working Notes – Autonomous Agents 2000, Workshop on Communicative Agents in Intelligent Virtual Environments, Barcelona, Spain.
- Mortenson, M. (1985) "Geometric Modeling". John Wiley and Sons. 763 p.
- Musse, S., Thalmann, D. (1997) "A Model of Human Crowd Behavior: Group Inter-Relationship and Collision Detection Analysis". Proceedings of Eurographics - CAS'97 - Workshop of Computer Animation and Simulation. Budapest, Hungary, Sept, 1997.
- Musse, S. (2000) "Human Crowd Modelling with Various Levels of Behaviour Control". Lausanne: EPFL (Tese de doutorado).
- Musse, S., and Thalmann, D. (2001) "A Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds". IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, V. 7, N.2, pp. 152-164, April-June, 2001.
- Musse, S., Osório, F., Garat, F., et al. (2000a) "Interaction with Virtual Human Crowds Using Artificial Neural Networks to Recognize Hands Postures". WRV – Workshop de Realidade Virtual, Gramado, RS, Brazil.
- Musse, S., Silva, A., Roth, B., Hardt, K., Barros, L., Tonietto, L. And Borba, M. (2003) "PetroSim: A Framework to Simulate Crowd Behaviors in Panic Situations". In MAS 2003 - Modeling & Applied Simulation, Bergeggi, Italy, 2003
- 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. (1997) "Expert Systems – Introduction to First and Second Generation and Hybrid Knowledge Based Systems". Eds: Marcel Dekker, New York.
- Nilsson N. (1980) "Principles of Artificial Intelligence". Tioga Publishing Company.
- Nwana, H. (1996) "Software Agents: An Overview". In: Knowledge Engineering Review, v. 11, n. 3, p. 205-144.
- Papathodorou, C. *Machine Learning in User Modeling*. (2001) Machine Learning and Applications. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer Verlag.
- Parent, R. (2002) "Computer Animation: Algorithms and Techniques". Morgan Kaufmann. San Francisco. 527p.
- Pazzani and Billsus, Pazzani, M. and Billsus, D. (1997) Learning and Revising User Profiles: The identification on Interesting Web Sites. Machine Learning, vol. 27, no. 3, pp. 313-331.

- Perlin, K. and Goldberg, A. (1996) "Improv: A system for scripting interactive actors in virtual worlds". ACM Computer Graphics Annual Conference, p. 205-216.
- Quinlan, R. (1993) "C4.5: Programs for Machine Learning". Morgan Kaufmann, Sao Mateo, California.
- Rao, A. and Georgeff, M. (1995) "BDI Agents: From Theory to Practice". Proceedings of the 1st International Conference on Multi-Agents Systems, San Francisco, CA, June.
- Reilly, S. and Bates, J. (1992) "Building Emotional Agents". Technical Report, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburg, PA, May.
- Reynolds, C. (1987) "Flocks Herds and Schools: A Distributed behavioral model". Proceedings of the SIGGRAPH 87, Computer Graphics, v. 21, n. 4, p. 25-34.
- Rickel, J. and Johnson, W. (1997) "Integrating Pedagogical Capabilities in a Virtual Environment Agent". Proceedings of the 1st International Conference on Autonomous Agents, February, ACM Press.
- Rickel, J and Johnson, W. (2000) "Task-Oriented Collaboration with Embodied Agents in Virtual Worlds". Embodied Conversational Agents, MIT Press, Boston.
- 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, v. 17, n. 4 (Special issue on AI in Interactive Entertainment).
- Rodello, I.; Kubo, M.; Kirner, C.; Tori, R. (2001) "Análise dos Principais Fatores para o Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos de Realidade Virtual". Proceedings of 4th Symposium on Virtual Reality, Florianópolis, SC, Brazil.
- Rosa Junior, O. (2001) "Ambientes Virtuais Cooperativos LRV-Chat3d, um Estudo de Caso". SVR – IV Symposium on Virtual Reality. Florianópolis.
- Russell, S. and Norvig, P. (1995) "Artificial Intelligence: A Modern Approach". Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, New Jersey.
- Santos, C. and Osório, F. (2003) "Aplicação de Técnicas de Aprendizado de Máquina para a Categorização de Textos". Relatório interno de pesquisa (disponível via web em <http://www.inf.unisinos.br/~cassiats/dissertacao>, 2003.
- Santos, C. and Osório, F. (2003a) "Concepção de Um Agente Inteligente para um Ambiente Virtual Adaptativo". IV Encontro Nacional de Inteligência Artificial, Campinas, SP.
- Santos, C. and Osório, F. (2003b) "Um Ambiente Virtual Adaptativo para a Educação a Distância". XIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Rio de Janeiro, RJ.
- Santos, C. and Osório, F. (2004) "An Intelligent and Adaptive Virtual Environment and its Application in Distance Learning". Advanced Visual Interfaces, Gallipoli, Italy, May, ACM Press.
- Santos, C. (2004a) "Um Ambiente Virtual Inteligente e Adaptativo baseado em Modelos de Usuário e Conteúdo". São Leopoldo: UNISINOS (Dissertação de Mestrado). Disponível em : <http://www.inf.unisinos.br/~cassiats/dissertacao>
- Schweiss, E.; Musse, S.; Garat, F.; Thalmann, D. (1999) "An architecture to guide crowds based on rule-based systems". Proceedings of the 1st International Conference Autonomous Agents, ACM Press.
- Sebastiani, F. (2002) "Machine learning in automated text categorization". ACM Computing Surveys, v. 34, n. 1, p.1-47.
- Simon, D. (2004) "Extração de Conhecimento a partir de Redes Neurais Recorrentes". São Leopoldo: UNISINOS (Dissertação de Mestrado).

- Sycara, K.; Decker, K.; Pannu, A.; Williamson, M.; Zeng, D. (1996) "Distributed Intelligent Agents". IEEE Expert.
- Tanenbaum, A. and Van Steen, M. (2003) "Distributed Systems". Prentice Hall, March. 803 p.
- Tecuci, G. (1998) "Building Intelligent Agents: A Multistrategy Learning Theory, Methodology, Tools and Case Studies". Academic Press, 320 p.
- Terzopoulos, D; Tu, X.; Grzeszczuk, R. (1994) "Artificial fishes with autonomous locomotion, perception, behavior and learning, in a physical world". In Maes, P. and Brooks, R., editors, Proceedings of the Artificial Life IV Workshop, MIT Press, p. 17-27.
- Terzopoulos, D. (1999) "Artificial Life for Computer Graphics". Communications of the ACM, v.42, n. 8, p.33-42.
- Thalmann N. and Thalmann D. (1994) "Creating Artificial Life in Virtual Reality". Artificial Life and Virtual Reality, John Wiley, Chichester, pp.1-10.
- Thalmann, N. and Thalmann, D. (1995) "Actors for Interactive Television". IEEE Special Issue on Digital Television.
- Thalmann, D. (1996) "A New Generation of Synthetic Actors: The Interactive Perceptive Actors". Pacific Graphics'96, p.200-219.
- Thalmann, D.; Musse, S.; Kallmann, M. (1999) "Virtual Humans' Behaviour: Individual, Groups, and Crowds". Digital Media Features.
- Tomaz, G. and Donikian, S. (2000) "Modeling virtual cities dedicated to behavioural animation". The International Journal of The Eurographics Association (Computer Graphics Forum), v.19, n.3, p.71-80.
- Torres, J.; Nedel, L.; Bordini, R. (2003) "Using the BDI Architecture to Produce Autonomous Characters in Virtual Worlds". Proceedings of the Interactive Virtual Agents, Irsee, Germany, p. 197-201.
- Viccari, R.; Giraffa, L. (1996) "Sistemas Tutores Inteligentes: abordagem tradicional x abordagem de agentes". Proceedings of the 13th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence, Curitiba, PR, Brazil, Springer Verlag.
- Villamil, M. (2003) "Simulação de Grupos de Humanos Virtuais utilizando Abordagens Micro e Macroscópicas". São Leopoldo: UNISINOS (Dissertação de Mestrado).
- Villamil, M., Musse, S. and Luna, L. (2003a) A Model for Generating and Animating Groups of Virtual Agents. In IVA 2003, Kloster-Irsee, Germany.
- Villamil, B., and Musse, S. (2003b) "A Model for Grouping Virtual Agents Applied in Simulation Games". In WJogos 2003, Workshop de Jogos 2003, Salvador, Bahia. Brazil, October 2003.
- Webber, B.; Badler, N.; Di Eugenio, B.; Geib, C.; Levison, L.; Moore, M. (1995) "Instructions, Intentions and Expectations". Artificial Intelligence Journal, Special Issue on Computational Theories of Interaction and Agency, v. 73, p. 253-269.
- Woo, Mason. (1998) "OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL". Addison-Wesley, 650 p.
- Wooldridge, M. and Jennings, N. (1995) "Intelligent Agents: Theory and Practice". In: Knowledge Engineering Review, v. 10, n. 2.