

CrowdSim: Uma ferramenta desenvolvida para Simulação de Multidões

Vinícius Jurinic Cassol
Rafael Araújo Rodrigues
Luiz Carlos Cunha Carneiro
Anderson Silva
Soraia Raup Musse

VHLab: Laboratório de Simulação de Humanos Virtuais
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS

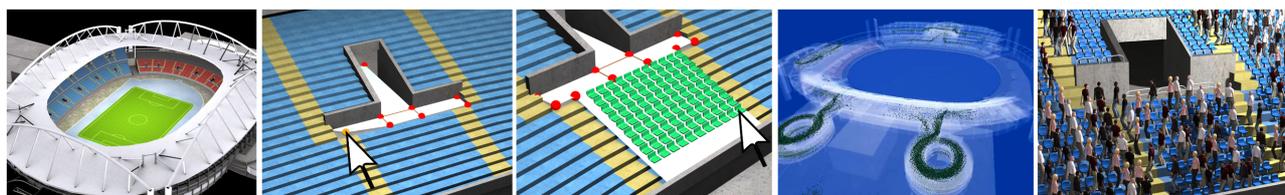


Figura 1: CrowdSim, uma ferramenta que, computacionalmente, é capaz de simular multidões em um ambiente virtual. Partindo de um modelo 3D onde, através da ferramenta, são definidas as áreas de movimento/caminhada, bem como obstáculos e pontos de objetivo é possível simular o movimento de agentes virtuais. Além disso, a CrowdSim também é capaz de gerar dados da simulação que permitam a sua renderização com humanóides 3D em ferramentas de modelagem e animação 3D.

Resumo

Simulação de multidões pode ser vista como uma área de pesquisa que pode ser diretamente aplicada com diferentes propósitos. Tais propósitos podem contemplar aplicações de entretenimento (filmes e jogos) além de aplicações de segurança (simulações de situação de emergência / evacuação de ambientes). Este artigo apresenta CrowdSim, uma ferramenta desenvolvida para simular computacionalmente situações de aglomeração de pessoas em diferentes ambientes, levando em conta questões de conforto e segurança dos indivíduos envolvidos. Além disso, também é apresentado um estudo de caso, onde CrowdSim é utilizada para a realização de simulações em um estádio de futebol brasileiro, com o objetivo de avaliar a segurança no processo de evacuação do estádio.

Palavras-Chave: Simulação de multidões, evacuação de ambientes, aplicações de segurança.

Author's Contact:

{vinicius.cassol, soraia.musse}@pucrs.br
<http://www.inf.pucrs.br/vhlab/>

1 Introdução

A formação de multidões pode ser observada em diversas situações, podendo ocorrer de forma voluntária ou involuntária. Quando organizados em multidão, emergem nos indivíduos comportamentos coletivos que não aconteceriam de forma individual. Considerando as diferentes situações em que multidões se formam, diversos estudos foram desenvolvidos a fim de verificar tal comportamento. Com isso, surge a área de simulação de multidões, onde busca-se simular os comportamentos coletivos e de massa.

Ao simular uma multidão, alguns fatores importantes devem ser observados, como o fato de a mesma ser formada por indivíduos independentes, os quais por sua vez possuem características próprias e necessidades distintas, bem como um objetivo a ser alcançado. Considerando a existência de um comportamento coletivo, os indivíduos que compõem a massa passam a se comportar e reagir como se representassem uma única entidade: a multidão. Considerando este tipo de comportamento, é possível observar que determinados indivíduos, ao agir como uma entidade grupo, acabam produzindo ações, ou respostas a situações, diferentemente de como fariam se agissem individualmente [Thalmann and Musse 2007].

Analisando a movimentação de grupos que se deslocam em busca de seu objetivo observa-se que o grupo se locomove atentando para que não ocorram colisões entre indivíduos do grupo, bem como com obstáculos no ambiente. Além disso, ainda na busca do objetivo, na maioria das vezes os indivíduos buscam o caminho mais curto e confortável até ele, caracterizando a lei do mínimo esforço [Helbing and Molnar 1998]. Outro ponto observado nos estudos da área de comportamento de multidões, é o fato de que, considerando a lei do mínimo esforço durante a exploração do espaço, pode-se observar situações de auto-organização das multidões propiciada através da manifestação de comportamentos emergentes. Embasando-se nos estudos de [Helbing and Molnar 1998] e [Still 2000], é possível considerar duas características importantes observadas em multidões: a formação de vias de pedestres, também denominadas *lanes*, bem como o efeito de redução da velocidade durante o deslocamento.

A fim de representar as características presentes em multidões, este artigo apresenta a ferramenta CrowdSim. Trata-se de uma ferramenta desenvolvida academicamente para simular computacionalmente uma multidão, em qualquer ambiente previamente mapeado. Considerando questões de conforto e segurança, a ferramenta também é capaz de, além da simulação, apresentar dados para análise estatística das simulações, permitindo o mapeamento de pontos críticos do ambiente identificado através de aglomerações, gargalos, etc.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a próxima seção é responsável por apresentar a CrowdSim, descrevendo suas características e funcionalidades. Em seguida, na Seção 3 é apresentado um caso de estudo que utiliza a ferramenta para realizar simulações no Estádio Municipal João Havelange, no Rio de Janeiro. Considerações sobre o trabalho apresentado neste artigo são descritas na Seção 4.

2 CrowdSim: Ferramenta para Simulação de Multidões

A CrowdSim é uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de produzir computacionalmente situações de aglomeração de pessoas considerando questões de conforto e segurança. Para isso, ela parte de um ambiente representado em três dimensões, no qual devem ser definidas as regiões onde as pessoas podem se movimentar. Além das áreas de movimentação, a ferramenta também permite que sejam definidas regiões de objetivos para os agentes, ou seja para onde eles devem se deslocar e/ou permanecer durante a simulação.

A correta definição das informações que correspondem ao cenário a ser considerado para a simulação é um ponto importante a ser observado. Tal importância deve-se ao fato de que as informações de configuração serão utilizadas para definir o comportamento dos indivíduos durante a simulação, como por exemplo sair do ponto em que se encontram e se dirigirem até a saída mais próxima. A Figura 2 ilustra a configuração de um cenário a ser considerado em uma simulação em um estádio de futebol: é possível observar dois tipos diferentes de regiões: as regiões onde encontram-se cadeiras e as regiões em vermelho. A primeira delas corresponde a regiões onde os agentes podem permanecer durante um intervalo de tempo. Por outro lado, as regiões em vermelho dizem respeito às áreas onde o movimento de pedestres é permitido. Tais regiões serão utilizadas, por exemplo, para o deslocamento dos agentes em busca da saída mais adequada, quando um evento de evacuação é disparado. Na *CrowdSim*, a possibilidade de definição de regiões diferenciadas em um mesmo cenário de simulação é possível através da utilização de “contextos” diferenciados.

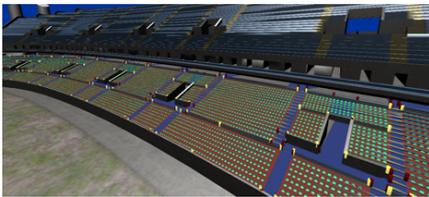


Figura 2: Exemplo de configuração de cenário para uma simulação. As regiões com cadeiras representam áreas onde os agentes podem permanecer por um intervalo de tempo e as áreas em vermelho especificam as regiões onde o deslocamento é permitido.

Para a definição do cenário, cada região específica é representada por um contexto. Com isso, é possível a definição de diversos contextos do mesmo tipo (contextos de objetivo e contexto de movimento). No exemplo ilustrado na Figura 2, cada região de arquibancada é representada por um contexto diferente porém todos do tipo objetivo. Nestes contextos, é possível definir a quantidade de agentes que neles devem permanecer, bem como para qual contexto devem se direcionar quando um evento for disparado. Em contrapartida, os contextos de movimento são utilizadas para o cálculo de *path planning* a fim de definir a melhor rota até o próximo contexto de objetivo.

O cálculo do *path planning* é realizado considerando a posição de todos os contextos de caminhada. Para cada contexto de caminhada, são calculadas rotas que permitam atingir todos os outros contextos que foram definidos como sendo do tipo *objetivo*. Com isso, é formado um banco de rotas possíveis para que os objetivos sejam alcançados pelos agentes. Este processo é feito em uma fase de pré-processamento onde o cenário da simulação é analisado pela ferramenta. Com isso, durante a simulação, cada agente irá utilizar a rota que, a partir do contexto em que se encontra, permita que ele alcance seu objetivo.

É interessante destacar que durante a fase de pré-processamento, para o cálculo das rotas, é utilizada uma abordagem baseada em grafo. Considerando a posição dos contextos no ambiente, um grafo é definido. A distância entre dois contextos que se ligam será utilizada para a definição das arestas, enquanto o ponto de ligação entre os contextos será considerado um nó.

Um exemplo simples apresentando a configuração de um cenário para simulação é ilustrado na Figura 3, considerando os seguintes pontos:

- Agentes são inseridos na simulação através do contexto definido como *entrada*. Em contextos deste tipo, é possível especificar parâmetros como o número total de agentes, a variação do tamanho dos grupos de agentes que serão criados e o intervalo de tempo entre o surgimento de agentes na simulação.
- Cada contexto de *entrada*, deve referenciar ao menos um contexto *objetivo*. No exemplo apresentado, os agentes inseridos no contexto de entrada, devem se deslocar até o contexto que representa bifurcação (tipo destino) e após 50% partem em

busca de outro destino, podendo este ser um dos contextos denominados *destino1* ou *destino2* (contextos tipo *destino*), quando então serão removidos da simulação.

- Para alcançar o destino, agentes utilizam-se de contextos de *caminhada*.

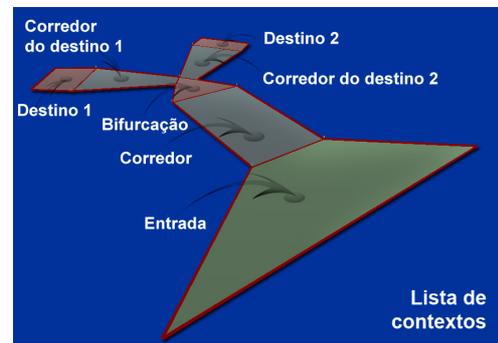


Figura 3: Exemplo da representação de um cenário para simulação com a utilização de diferentes tipos de contextos: contextos de entrada, caminhada, objetivo.

Um ponto importante a ser observado na definição dos contextos, é que os limites entre eles representam portas. Assim, ao definir que o contexto de entrada possui ligação com o contexto de caminhada, a aresta que conecta os contextos atuará como porta.

Considerando a existência de contextos interligados através de portas, juntamente com a existência de agentes no ambiente, é possível a definição de comportamentos a serem executados durante a simulação. Tais comportamentos são executados através de *eventos*. Com isso, pode-se por exemplo acionar a evacuação do ambiente, definindo-se que em determinado tempo da simulação, todos os agentes devem-se dirigir para um determinado contexto do ambiente, contexto este que representa um ponto seguro, fora do ambiente virtual que está sendo evacuado.

Como saída da simulação realizada, tem-se os seguintes dados:

- Vazão de Agentes.
- Tempo de Vida dos Agentes (tempo decorrido desde seu surgimento até alcançar o objetivo na simulação).
- Trajetórias dos agentes.

Considerando os dados de saída é possível analisar a densidade populacional ao longo do tempo, para as diversas áreas do ambiente simulado, assim como uma medida do tempo total de evacuação. Tais informações podem ser vistas como indicadores das condições de segurança e conforto e sua análise pode indicar os pontos críticos e gargalos, orientando a tomada de decisões na busca de soluções para a prevenção e correção de eventos indesejáveis.

Outra saída da ferramenta diz respeito aos dados que representam as trajetórias percorridas pelos agentes ao longo da simulação. O objetivo destes dados, é possibilitar que uma simulação possa ser renderizada por alguma ferramenta de animação (3DS, Maya). Considerando uma visualização mais específica com humanos virtuais “bipedest’ t”, a ferramenta também possibilita que os dados da trajetória de cada agente sejam representados através de “pegadas” tridimensionais ao longo do tempo. Com isso é possível que uma ferramenta de visualização anime os humanóides considerando a posição dos seus pés durante a caminhada. Com isso, é possível acrescentar mais veracidade à visualização, principalmente em regiões onde os agentes se deslocam através de uma escada, ou rampa.

Além de estatísticos e trajetórias, após a realização de uma simulação, a *CrowdSim* também disponibiliza um mapa de densidade (Fig. 4) onde é possível observar os diferentes níveis de concentração dos agentes durante a simulação nas diferentes partes do ambiente simulado.

Esta seção apresentou a ferramenta *CrowdSim*. Dentre as suas aplicações, pode-se mencionar que um mesmo ambiente virtual, por

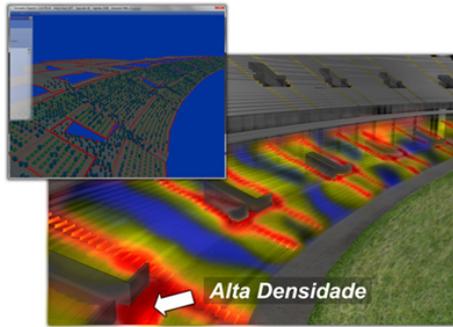


Figura 4: Mapa de densidade apresentado pela CrowdSim. Neste mapa, as regiões em vermelho apontam para áreas onde houve maior concentração de agentes durante o período da simulação.

exemplo pode ter sua ocupação simulada diversas vezes. Esta possibilidade pode trazer resultados altamente positivos quando estuda-se um espaço que ainda está sendo projetado. Isto porque, ao realizar diversas simulações, pode-se identificar pontos de melhoria no projeto do ambiente como, por exemplo, dimensões de portas, amplitude de corredores, entre outros.

3 Estudo de Caso: Estádio Municipal João Havelange

Nesta seção é apresentado um estudo de caso realizado considerando o Estádio Municipal João Havelange, no Rio de Janeiro. Para o desenvolvimento do experimento, foram levantados dados do estádio (estrutura física, capacidade de lotação, ocupação durante os jogos) que permitiram configurar a ferramenta CrowdSim a fim de realizar as simulações desejadas. O objetivo principal consiste em identificar o comportamento realizado pelo público presente no estádio durante um evento de evacuação, como por exemplo, o término de um jogo.

Para a utilização da ferramenta, foi necessária a representação do estádio em 3 dimensões. O modelo 3D do estádio, foi desenvolvido considerando a sua real estrutura e representando fielmente as formas de acesso ao mesmo. Neste ponto, destaca-se que tanto as rampas de acesso, como corredores internos que levam às arquibancadas necessitaram ser reproduzidos.

Além disso, o posicionamento das áreas reservadas para arquibancadas também é definido na ferramenta através da utilização de “contextos”. Ao executar um evento de evacuação, os agentes deixam as arquibancadas e dirigem-se até um ponto pré estabelecido, de destino. Destaca-se que para atingir tal ponto, como por exemplo um local externo ao estádio, os agentes se deslocam corretamente pelos corredores, tanto das arquibancadas, como dos anéis de acesso e áreas de acesso ao estádio onde o deslocamento de pedestres é permitido (regiões especificadas na CrowdSim como contextos de movimento/caminhada).

Com a utilização da CrowdSim foi possível realizar uma série de simulações, considerando diferentes cenários. Com base nisso, neste artigo são apresentados resultados obtidos com a simulação de três situações:

1. Estádio com ocupação média (17 mil pessoas).
2. Estádio com ocupação máxima (45 mil pessoas).
3. Estádio com ocupação máxima (45 mil pessoas) e uma saída interdita.

A Figura 5 apresenta o modelo 3D do estádio utilizado pela ferramenta, tanto para a definição de contextos como, para a realização dos diferentes cenários de simulação.

Durante a execução dos cenários de simulação, foi possível observar graficamente, através da ferramenta, a movimentação dos agentes em busca de seu objetivo. A Figura 6 ilustra dois momentos



Figura 5: Estádio utilizado para a realização das simulações. É possível observar o estádio representado em três dimensões, além de uma representação para o Caso de Teste 3.

da simulação onde é possível observar o correto fluxo de agentes formado durante o processo de evacuação do estádio através das rampas de acesso (contextos de movimento/caminhada).

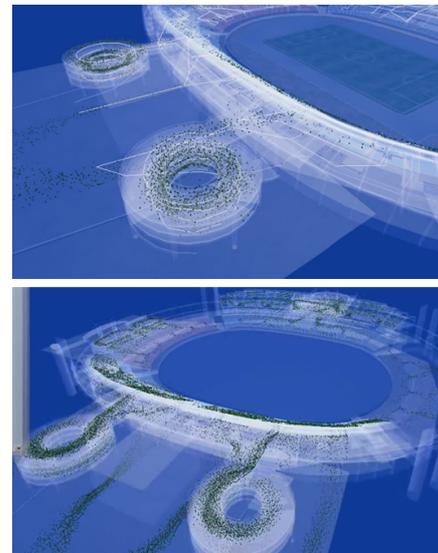


Figura 6: Visualização das simulações através da CrowdSim onde é possível observar o fluxo de movimentação dos agentes durante a realização da simulação.

A análise dos dados de saída da CrowdSim permitiu observar que em todos os casos as pessoas conseguiram caminhar em velocidade próxima a desejada de acordo com a literatura [Fruin 1971] (1.2 m/s), o que indica que não houve afunilamento durante a evacuação, atestando a boa capacidade do estádio para evacuações. O tempo médio para evacuação, em todos os casos (mesmo com uma saída interdita), sempre ficou em torno de **7 minutos** e novamente não se percebeu afunilamento perigoso, o que novamente demonstra que o estádio é bem estruturado para evacuações.

4 Considerações Finais

Neste artigo foi apresentada e detalhada a ferramenta CrowdSim. O grande foco da ferramenta consiste em simular computacionalmente o movimento de um grande número de agentes em um ambiente 3D.

Características da ferramenta permitem que o usuário, facilmente especifique no modelo 3D do ambiente quais são as regiões onde o movimento de agentes é permitido, além de regiões para as quais os agentes devem se deslocar e/ou permanecer por um período de

tempo da simulação. Com essas informações, a ferramenta consegue calcular e especificar a melhor rota a ser seguida por cada agente da simulação.

Para validação das funcionalidades da ferramenta, foi apresentado um caso de estudo que levou em consideração o Estádio Municipal João Havelange, no Rio de Janeiro. Dados obtidos pela ferramenta após a simulação permitiram concluir que o estádio é seguro e possibilita que o processo de evacuação após um jogo de futebol seja realizado com segurança mesmo em situações em que nem todas as saídas do estádio estão disponíveis para os torcedores.

A realização do estudo de caso no estádio de futebol mostrou a aplicabilidade da ferramenta. Trata-se apenas de um único experimento, porém, apresenta a aplicabilidade da ferramenta. Novos experimentos podem ser realizados, necessitando apenas da configuração, na *CrowdSim*, dos cenários de simulação a serem observados.

Agradeciemntos

Este projeto foi realizado com apoio da FINEP, através do Projeto da Rede Brasileira da Visualização - RBV, Tecnologia de Visualização em Segurança e Defesa (Convênio N^o: 01.08.0329.00 - Ref. 2110/07).

Agradecimento especial à equipe do *Botafogo de Futebol e Regatas*, pelo apoio e suporte para a realização do estudo de caso no Estádio Municipal João Havelange.

Os autores também agradecem o apoio do CNPq e FAPESP ao INCT-SEC: Instituto Nacional em Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos (Processos 573963/2008-8 e 08/57870-9).

Referências

- FRUIN, J. 1971. *Pedestrian Planning and Design*. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners.
- HELBING, D., AND MOLNAR, P. 1998. Self-Organization Phenomena in Pedestrian Crowds. *ArXiv Condensed Matter e-prints* (June).
- STILL, G. K. 2000. *Crowd Dynamics*. PhD thesis, University of Warwick, Coventry, UK.
- THALMANN, D., AND MUSSE, S. R. 2007. *Crowd Simulation*. Springer-Verlag London Ltd.