

Uso do ambiente SIMULA para Simulação do Domínio de Resgate RoboCup

Reinaldo Bianchi e Anna Helena Reali-Costa

Laboratório de Técnicas Inteligentes
Departamento de Engenharia da Computação – Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 158.
05508-900 São Paulo – SP – Brasil.
fone: +55 11 3818-5397 fax: +55 11 3818-5294
{rbianchi, anna}@pcs.usp.br

Abstract. Com o objetivo de criar um novo domínio para o estudo de agentes autônomos, foi proposto em 1999 o *RoboCup Rescue*: um domínio de resgate de pessoas após um desastre ambiental em larga escala, como um terremoto ou uma inundação. Uma série de estudos vêm sendo realizados com o objetivo de implementar um simulador adequado à complexidade deste domínio. Dentro deste contexto, este trabalho propõe a utilização do ambiente SIMULA para simular o domínio de resgates da Robocup. SIMULA é um ambiente de desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes reativos que permite a definição e execução de simulações simples de ambientes multi-agentes. Com base nos experimentos realizados concluímos que este ambiente de desenvolvimento possibilita a realização de uma simulação inicial e reativa do domínio de resgate *RoboCup Rescue*, além de ser uma demonstração didática do funcionamento de uma sociedade de agentes reativos.

Keywords. Multi-Agent Systems, RoboCup Rescue, SIMULA.

Conference Topic. Distributed AI and Multi-Agent Systems

1. Introdução

Com o objetivo de criar um novo domínio para o estudo de agentes autônomos, Kitano et al. (1999) propuseram o *RoboCup Rescue*: um domínio de resgate de pessoas após um desastre ambiental em larga escala, como um terremoto ou uma inundação.

Uma série de estudos vêm sendo realizados com o objetivo de implementar um simulador adequado à complexidade deste domínio. Dentro deste contexto, este trabalho propõe a utilização do ambiente SIMULA para simular o domínio de resgates da *RoboCup*.

SIMULA (Frezza e Sorio, 1998; Frezza et al., 1998) é um ambiente de desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes reativos, implementado na linguagem Java. Ele é estruturado em dois módulos básicos os quais, por sua vez, são subdivididos em diversas partes, permitindo a definição e execução de simulações simples de ambientes multi-agentes.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 descreve o domínio de resgate proposto pela *RoboCup*. A seção 3 descreve o ambiente de desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes reativos SIMULA. A seção 4 descreve a implementação dos agentes referentes ao domínio de interesse, que permite a simulação. A seção 5 apresenta e comenta os resultados obtidos. Finalmente, a seção 6 conclui este trabalho.

2. O domínio de resgate

Desastres são uma das causas de maior perda de vidas nos países desenvolvidos. Apesar de envolver perdas na ordem dos milhões de dólares, não existem ferramentas tecnológicas para este domínio. Segundo Kitano (1999), a robótica e a inteligência artificial podem contribuir a melhoria das ferramentas usadas em casos de desastres de duas maneiras: com a construção de um simulador que permita compreender e otimizar as estratégias de resgate de vítimas e com o desenvolvimento de robôs ou times de robôs para a localização das vítimas presas ou soterradas em escombros.

Entre as características principais deste domínio está a grande quantidade de agentes e a heterogeneidade dos mesmos. Devem existir agentes de tipos diferentes para busca de vítimas em situações diversas, agentes para coleta de dados, para coordenação de tarefas, etc. Além disso, este domínio enfatiza o problema de logística e planejamento, com ciclos de tempo na ordem de minutos, em detrimento do problema do controle dos robôs em tempo real com ciclos de tempo na ordem dos milissegundos. A tabela 1 resume estas características.

O *Robocup Rescue* é composto por duas áreas de estudo (e de competição) complementares: a dos robôs reais e a de simulações. A implementação de um sistema para a simulação do domínio de resgate deve modelar vários aspectos: danos às construções, incêndios, linhas de suprimentos, vítimas e o comportamento dos refugiados.

Ainda não existe um simulador específico para este domínio, porém um protótipo se encontra em desenvolvimento. Ele é constituído por diversos módulos simuladores

distribuídos – cada um responsável pela simulação de um aspecto do domínio – baseado em informações geográficas reais da cidade de Kobe. Os módulos permitem visualização 2D, 3D e de agentes específicos como bombeiros, fogo, etc. A figura 1 apresenta imagens do módulo de visualização 3D.

Tabela 1. Características do resgate, Futebol de Robôs e Xadrez (Kitano et al., 1999).

<i>Característica</i>	<i>Domínio Resgate</i>	<i>Futebol de Robôs</i>	<i>Xadrez</i>
Número de agentes	100 ou mais	11 por time	-
Agentes no time	Heterogêneos	Homogêneos	-
Logística	Sim	Não	Não
Planejamento de longo termo	Sim	Pouco enfatizado	Sim
Colaboração emergente	Sim	Não	Não
Hostilidade	Ambiente	Oponentes	Oponente
Tempo Real – Ciclo médio	Segundos a minutos	Milisegundos	-
Acesso a informação	Ruim	Bom	Perfeito
Representação	Híbrida	Não simbólica	Simbólica
Controle	Semi centralizado ou Distribuído	Distribuído	Central



Fig. 1. Imagens do Simulador do *RoboCup Rescue* que se encontra em desenvolvimento.

Para incentivar e avaliar a pesquisa, serão realizadas competições anuais, similares as de Futebol de Robôs da *RoboCup* e ao AAI *Urban Search and Rescue Contest*, além de workshops e demonstrações. O primeiro workshop internacional e a primeira competição experimental do *RoboCup Rescue* será realizada juntamente do ICMAS-2000, em Boston, onde também serão discutidas as regras e regulamentos para as próximas competições.

3. O ambiente SIMULA

SIMULA (Frozza e Sorio, 1998; Frozza et al., 1998) é um ambiente de desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes reativos (Brooks, 1991),

desenvolvido na linguagem Java. O ambiente é estruturado em dois módulos: o de definição e o de execução.

O módulo de definição de uma aplicação é composto por três partes distintas. A primeira destina-se à especificação dos agentes que compõem o sistema. Nesta parte, se define um nome, um ícone e a quantidade inicial de cada tipo de agente que farão parte da simulação, além da área na qual o agente consegue perceber outros agentes. Essa área de percepção define a distância que um agente passa a perceber outros agentes no sistema.

A segunda parte do módulo de definição permite a especificação das regras de comportamento para cada tipo de agente. Estas regras determinam a atuação dos agentes em um processo de simulação através da definição das pré-condições para a ativação de um comportamento, suas ações e sua prioridade. Existem diversos comportamentos pré-definidos que podem ser utilizados no ambiente SIMULA, classificados em 3 tipos básicos: ativos, passivos e de estado. Os comportamentos ativos permitem a um agente atuar no ambiente, modificando o estado do agente (por exemplo, `segue_maior_gradiente` e `foge_de_agente`); os comportamentos passivos permitem a um agente se movimentar no ambiente; e os comportamentos de estado estão relacionados à percepção do agente e as condições de execução de ações (`percebe_agente` e `atinge_agente`, por exemplo).

O último elemento deste módulo é o que permite ao usuário especificar a disposição inicial dos agentes no ambiente, que pode ser fixa ou aleatória.

O módulo de execução do ambiente SIMULA é composto por duas partes: a de geração de código e a de execução. A primeira transforma as definições dos agentes em um código Java que pode ser executado. A segunda controla a execução da simulação, adicionando uma interface amigável que permite a visualização gráfica da atuação dos agentes.

Finalmente, no ambiente SIMULA o ambiente é definido a partir da especificação de agentes que o modelam, chamados agentes de ambiente e através da colocação e remoção de pistas ou marcadores em uma posição, ação permitida a qualquer agente. Além disso, agentes podem definir, modificar e utilizar variáveis (como energia ou tempo de vida). Deste modo, a interação de agentes com um ambiente é realizada feita através da interação entre agentes ativos, agentes de ambiente e marcadores.

4. Os agentes implementados

Para implementar uma simulação do domínio *RoboCup Rescue* utilizando o simulador de agente reativos SIMULA foram definidos diversos tipos de agentes. A tabela 2 apresenta o nome dos agentes e seus ícones.

Estes agentes podem ser classificados de acordo com a sua função. Existem duas classes de agentes ativos, os que modelam as equipes de resgate e os que modelam a população que deve ser auxiliada. Na primeira se encontram os agentes de busca em escombros, as ambulâncias e os bombeiros e na segunda estão as vítimas, os refugiados e os vândalos. O ambiente foi modelado através da definição de três tipos de agentes de ambiente: os escombros, o fogo e os suprimentos.

Tabela 2. Nomes e ícones dos agentes implementados.

<i>Nome</i>	<i>Ícone</i>
Robô de buscas	
Ambulância	
Bombeiro	
Vítima	
Refugiado	
Vândalo	
Escombros	
Fogo	
Suprimentos	

Agentes de resgate: robô de busca em escombros, ambulâncias e bombeiros

Os agentes de resgate de vítimas – robô de busca de vítimas nos escombros, ambulâncias e bombeiros - são os quais as autoridades que comandam as operações de salvamento possuem controle e, no *RoboCup Rescue*, são os agentes que permitem a um módulo de planejamento e controle de modificar o sistema.

O agente de procura de vítimas anda aleatoriamente em busca de escombros. Quando o percebe, vai em sua direção deixando pistas para que o agente ambulância o siga (imagina-se que ao encontrar uma vítima a ambulância estaria se aproximando). Ao chegar em um destroço, este agente simula o resgate de vítimas. Para isso, a interação do agente de procura com um destroço pode simplesmente eliminar o destroço, encontrar uma vítima sob os escombros ou no pior caso, gerar uma explosão que transforma o destroço em fogo e elimina o agente de procura. A probabilidade de ocorrer cada um desses cenários fixa e dada pela função pré definida no ambiente *SIMULA taxa_de_sucesso*.

Os agentes ambulâncias simulam um grupo de paramédicos que podem prestar socorro às vítimas menos graves. Elas andam aleatoriamente até perceberem a existência de uma vítima. Então vão em sua direção e a transformam em um refugiado. Elas também seguem as pistas deixadas pelos robôs de busca no ambiente.

Os bombeiros são os mais simples desta classe de agentes. Eles percebem o fogo em qualquer ponto do ambiente, vão até ele o apagam. Por ser simples, possui apenas duas regras de comportamento:

```
Se percebe_agente(fogo)
Então: segue_maior_gradiente(fogo)
Se: atinge_agente(fogo)
Então: mata_agente(fogo)
```

Vítimas, refugiados e vândalos

Vítimas e refugiados são elementos ativos da simulação sobre os quais os módulos de planejamento e controle não atuam diretamente, mas através dos agentes de resgate, sendo agentes devem “ser salvos, resgatados e cuidados” na maior velocidade possível. Estes agentes não estão sob o controle das autoridades, tomando decisões e atuando de maneira própria, adicionando incerteza e dinamismo ao ambiente.

Cada vez que um destroço é encontrado por um agente de busca, existe uma probabilidade de se encontrar uma vítima. Se esta é encontrada, ela entra na simulação e deve ser atendida por um agente ambulância em um curto espaço de tempo (50 ciclos), senão morre. Caso ela seja atendida, ela se transforma em um refugiado.

Um refugiado anda aleatoriamente à procura de suprimentos. Cada vez que ele encontra um agente passivo suprimento, ele tem sua energia recarregada para o valor 50. A cada passo da simulação ele perde uma unidade de energia. Caso sua energia chegue a zero, ele “perde a paciência e a razão”, se tornando um vândalo.

Os vândalos – como todo bom saqueador – andam em grupos. Ao encontrarem um agente ambulância, eles a saqueiam, “canibalizando” os paramédicos e seus suprimentos. Assim, quando um vândalo encontra uma ambulância, esta é transformada em suprimentos, na taxa de 1 para 10. Por este motivo, as ambulâncias fogem dos vândalos.

Finalmente, ao encontrar suprimentos os vândalos se acalmam, voltando a ser refugiados.

Modelo do ambiente: escombros, fogo e suprimentos

Para modelar os agentes passivos, que vão formar o ambiente em que os outros agentes atuarão, foram escolhidos 3 agentes básicos: os escombros, o fogo e os suprimentos.

Os escombros representam as construções que foram destruídas pelo acidente natural. Cada destroço pode estar escondendo uma vítima. Como já explicado, existe uma probabilidade para que os agentes de procura transformem os escombros em uma vítima, em fogo ou simplesmente o eliminem.

O fogo, que surge da explosão dos escombros, elimina qualquer agente que não seja um bombeiro e que passe por perto dele.

Os suprimentos são consumidos pelos refugiados, recarregando a energia destes em 10 pontos.

5. Análise dos resultados obtidos

Foram realizados diversas simulações do domínio baseadas nos agentes descritos acima. A figura 2 apresenta a interface do ambiente SIMULA onde se pode observar janela de visualização gráfica dos agentes.

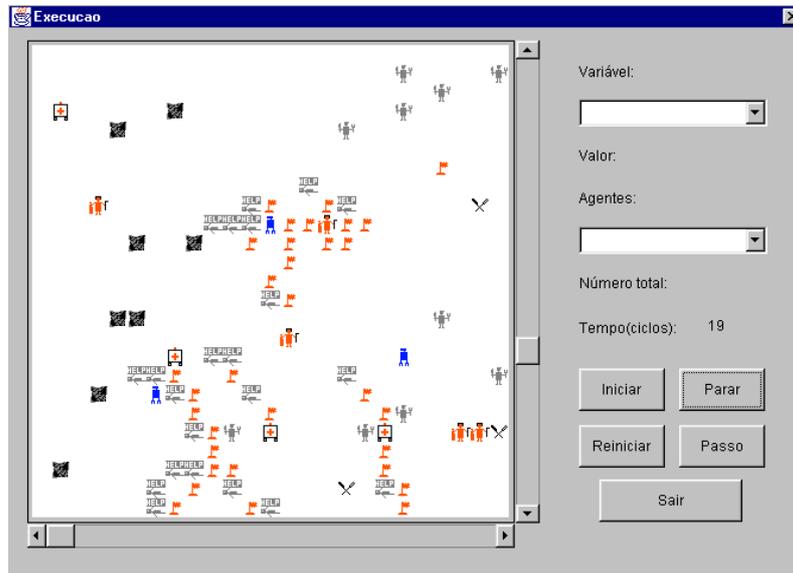


Fig. 2. Ambiente SIMULA com agentes do *RoboCup Rescue*.

Nas simulações realizadas um dos comportamentos mais interessantes é o dos vândalos. Na figura 3 apresentamos a seqüência de momentos em que 2 vândalos perseguem uma ambulância (cenas *a* e *b*), a saqueiam, criando 10 unidades de suprimento e destruindo a ambulância (cena *c*) e voltam a ser refugiados depois de se alimentar (cena *d*).

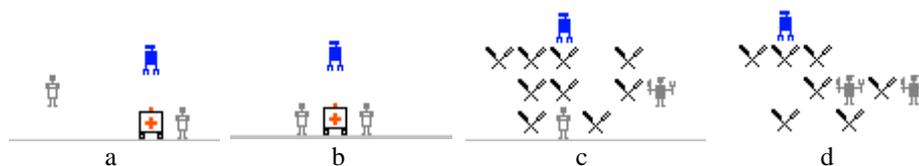


Fig. 3. seqüência de perseguição à ambulância

A experimentação mostrou que ao final da simulação sobram apenas vândalos, robôs de busca de vítimas e bombeiros, o que é condizente com o fato destes serem os únicos agentes que não são eliminados por outros agentes. A figura 4 mostra o tempo médio de simulação e o número médio de vândalos restantes para simulações onde o número de suprimentos ao início varia de 100 até 500 (média de 5 simulações). Nela pode-se ver que tempo médio para o término da simulação não depende da quantidade de escombros ao início e que o número de vândalos finais depende. Isto é coerente com o fato do tempo de simulação estar ligado à quantidade de suprimentos (que é fixa) e com o número de agentes.

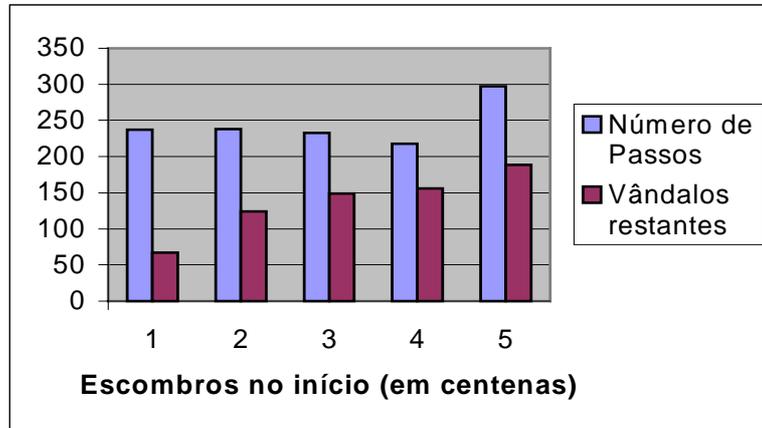


Fig. 4. Tempo de simulação e número de vândalos final para 5 valores iniciais de escombros.

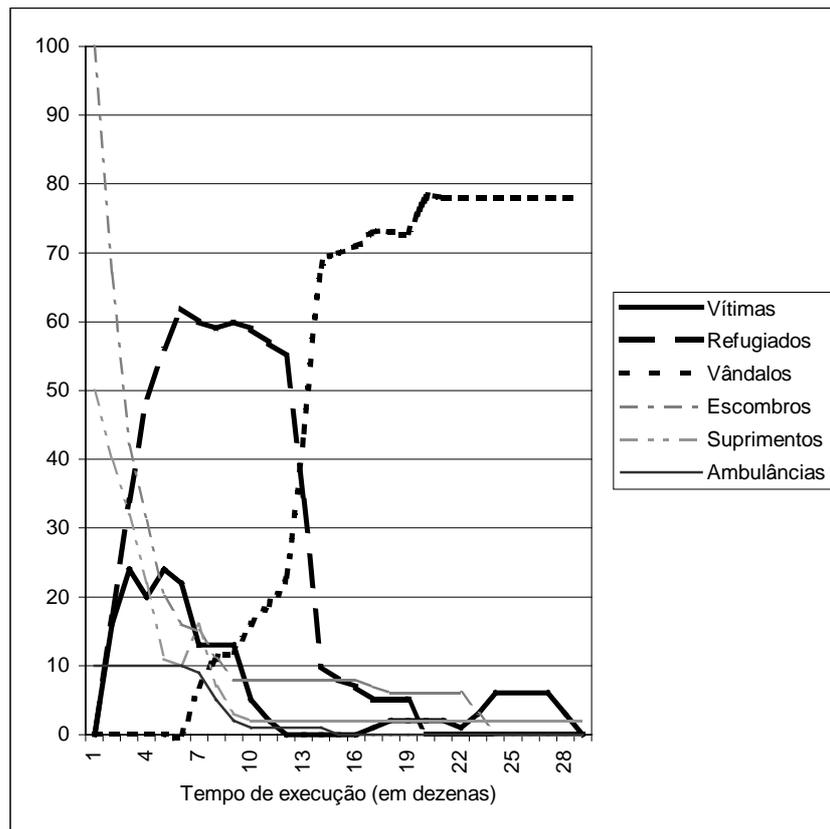


Fig. 5. Número de agentes pelo tempo de simulação.

A figura 5 mostra a evolução do número de agentes durante uma simulação. Nele podemos que:

- o número de ambulâncias diminui a medida que o número de vândalos cresce;
- a quantidade de escombros diminui exponencialmente, já que o número de robôs que os transforma em vítimas é fixo;
- o número de vitimas, de refugiados e de vândalos está relacionado. No início, não temos nenhum deles. Conforme a simulação avança, surgem vítimas, que se transformam em refugiados e depois em vândalos, a medida que o suprimento vai acabando;
- ao final, um robô de busca encontra seis escombros restantes e os transforma em vítimas. Estas morrem logo a seguir pois não existem mais ambulâncias para socorrê-las;
- e que duas unidades de suprimentos não são encontradas. Isso se explica por estarem nos cantos e pelo fato dos vândalos ficarem quase parados ao final da simulação, pois formam um grande grupo onde um agente atrai o outro.

O arquivo com a descrição destes agentes que pode ser executado pelo ambiente SIMULA se encontra na URL <http://www.lti.pcs.usp.br/~rbianchi/RoboCup>.

6. Conclusão

Com base nos experimentos realizados concluímos que o ambiente de desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes reativos SIMULA possibilita uma simulação inicial e reativa do domínio de resgate de vítimas de grandes catástrofes naturais proposto pela *RoboCup Rescue*.

O ambiente SIMULA é extremamente amigável com o usuário, tornando a definição de sistemas um trabalho fácil e até divertido. Porém, algumas falhas existentes na versão utilizada do sistema não permitiram uma melhor definição de vários agentes. Entre as falhas ocorridas, aquelas que mais atrapalham o desenvolvimento foram o não funcionamento correto das funções *transforma_agente* – que foi substituída pela combinação das funções de *matar_agente* e *reproduzir_agente* um novo agente - e *taxa_de_sucesso*, que não permitiu a modelagem da taxa de sucesso que os agentes de procura de vítimas em escombros, nem a probabilidade de um escombros se incendiar.

Os trabalhos futuros baseados no ambiente SIMULA incluem a implementação de diversos outros tipos de agentes: hospitais, médicos, agentes que reconstruam as edificações, obstáculos naturais, etc., visando possibilitar uma melhor modelagem do ambiente de desastre.

Finalmente, por ser um ambiente de agentes reativos, o SIMULA não permite a coordenação intencional dos agentes, o planejamento e estudo dos problemas logísticos. Assim, esta implementação deve ser vista como um passo inicial no estudo deste domínio, cujos passos envolvem a construção de um simulador próprio, trabalho que se encontra em andamento.

7. Bibliografia

- Brooks, R. (1991) Intelligence without Representation. *Artificial Intelligence*, n. 47. Pp. 139-159. Elsevier
- Frozza, R.; Sorio, F. (1998). *SIMULA – Ambiente para desenvolvimento de Sistemas Multi-Agentes Reativos*. Material de apoio, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Frozza, R.; Alvares, L. O; Sório, F. (1998) Ambiente para desenvolvimento de Sistemas Multi-Agentes Reativos. In: *VI Congresso Argentino de Ciências de La Computacion*, Neuquen, vol. 2, pp. 1021-1033.
- Kitano, H et al. (1999) RoboCup Rescue: Search and rescue in Large-Scale Disasters as a Domain for Autonomous Agents Research.. In *Proceedings of the IEEE Conference on Man, Systems and Cybernetics*. IEEE Press.