CORDENONSI, A. Z. ; LOY, Alisson Moscato . *Análise das Interações entre Agentes Reativos em um Ambiente de Simulação Tridimensional.* In: III Congresso Brasileiro de Computação, 2003, Itajaí. Anais do III Congresso Brasileiro de Computação. Itajaí : Editora Tec Art, 2003.

ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE AGENTES REATIVOS EM UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Andre Zanki Cordenonsi, Alisson Moscato Loy

andrezc@unifra.br, aloy@programmer.net

Área de Ciências Naturais e Tecnológicas

Centro Universitário Franciscano – UNIFRA

Rua dos Andradas 1614 – CEP 97010 032 – Santa Maria – RS

RESUMO

Agentes reativos são importantes ferramentas para a resolução de problemas em ambientes dinâmicos e/ou complexos. Da mesma forma, podem ser utilizados quando o tempo de resposta é crucial para a resolução do problema. No entanto, a concepção destes agentes parte da premissa de que suas regras serão construídas de tal forma que as interações entre os agentes possam resolver coletivamente o problema. Deste modo, a definição das regras de comportamento tem importância crucial no desempenho do sistema. Este artigo apresenta uma análise das interações entre agentes reativos em um ambiente tridimensional com o intuito de verificar os resultados globais do sistema quando da modificação dos comportamentos de cada agente. Como estudo de caso, foi utilizado o Problema dos Robôs Mineradores.

Palavras-chave: Sistemas Multiagentes Reativos, Interações entre Agentes, Simulação Tridimensional.

ABSTRACT

Reactive agents are important tools to resolute problems in dynamic and/or complex environments. They can also be used when the throughput is crucial to solve the problem. However, the conception of reactive agents is based in the definition of action rules which interactions can reach the solution collectively. Therefore, the definition of the behavior rules has crucial importance in the systems performance. This paper presents an analysis of the interactions between reactive agents in a three-dimensional environment to verify the global results when we introduce modifications in the action rules of each agent. As case study, the Mining Robots Problem was choused.

Key-words: Reactive Multiagent Systems, Agents Interactions, Three-dimensional Simulation.

Categoria do Artigo : Agent´s Day

Área : Metodologias e Ferramentas para Especificação de Agentes

CORDENONSI, A. Z. ; LOY, Alisson Moscato . *Análise das Interações entre Agentes Reativos em um Ambiente de Simulação Tridimensional.* In: III Congresso Brasileiro de Computação, 2003, Itajaí. Anais do III Congresso Brasileiro de Computação. Itajaí : Editora Tec Art, 2003.

ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ENTRE AGENTES REATIVOS EM UM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO TRIDIMENSIONAL

RESUMO

Agentes reativos são importantes ferramentas para a resolução de problemas em ambientes dinâmicos e/ou complexos. Da mesma forma, podem ser utilizados quando o tempo de resposta é crucial para a resolução do problema. No entanto, a concepção destes agentes parte da premissa de que suas regras serão construídas de tal forma que as interações entre os agentes possam resolver coletivamente o problema. Deste modo, a definição das regras de comportamento tem importância crucial no desempenho do sistema. Este artigo apresenta uma análise das interações entre agentes reativos em um ambiente tridimensional com o intuito de verificar os resultados globais do sistema quando da modificação dos comportamentos de cada agente. Como estudo de caso, foi utilizado o Problema dos Robôs Mineradores.

Palavras-chave: Sistemas Multiagentes Reativos, Interações entre Agentes, Simulação Tridimensional.

ABSTRACT

Reactive agents are important tools to resolute problems in dynamic and/or complex environments. They can also be used when the throughput is crucial to solve the problem. However, the conception of reactive agents is based in the definition of action rules which interactions can reach the solution collectively. Therefore, the definition of the behavior rules has crucial importance in the systems performance. This paper presents an analysis of the interactions between reactive agents in a three-dimensional environment to verify the global results when we introduce modifications in the action rules of each agent. As case study, the Mining Robots Problem was choused.

Key-words: Reactive Multiagent Systems, Agents Interactions, Three-dimensional Simulation.

1. Introdução

Os Sistemas Multiagentes (SMA) têm sido largamente estudados na concepção de soluções robustas e escaláveis para os mais diversos problemas. Dentre os diversos tipos de sistemas multiagentes e agentes desenvolvidos, os agentes reativos têm sido propostos como solução para problemas onde o tempo de resposta e as interações agente/ambiente são cruciais (Brooks, 1986). Um agente reativo pode ser definido através das seguintes características, segundo Ferber (1991):

— não há representação explícita do conhecimento: o conhecimento dos agentes é implícito (regras de comportamento) e sua manifestação se externa através do seu comportamento e dos demais agentes;

- não há representação do ambiente: o comportamento (resposta) de cada agente é baseado no que ele percebe (estímulo) a cada instante. Não há uma representação interna explícita do ambiente;
- não há memória das ações: os agentes reativos não mantêm nenhum tipo de histórico de suas ações, ou seja, o resultado de uma determinada ação passada não influencia diretamente na decisão de uma ação futura;
- organização etológica: a forma de organização dos SMA reativos é similar à observada por animais que vivem em grandes comunidades;
- grande número de membros: em geral, os SMA reativos possuem um grande número de agentes, com populações que podem chegar à ordem de milhares de membros.

Deste modo, percebe-se que o comportamento global de um sistema multiagente reativo é função direta das múltiplas interações entre os agentes constituintes do mesmo. Estas interações são regidas pelas regras comportamentais de cada agente, que verificam seus sensores (percepção) e atuam de acordo com suas regras (ação). Logo, qualquer alteração nestas regras comportamentais pode gerar resultados completamente diversos, principalmente se o sistema prevê um longo tempo de atividade para os agentes.

O objetivo deste artigo é apresentar uma análise acerca das interações realizadas entre agentes reativos, com o intuito de verificar os resultados globais do sistema quando da variação do comportamento dos agentes. O ambiente proposto é apresentado no capítulo dois. Como estudo de caso, foi escolhido o problema dos Robôs Mineradores, que é apresentado no capítulo três. No capítulo quatro é apresentado brevemente o ambiente de simulação desenvolvido. Os resultados são apresentados e discutidos no capítulo cinco. Finalmente, o capítulo seis apresenta as conclusões e considerações finais.

2. Proposta do Ambiente de Simulação Tridimensional

Na área dos Sistemas Multiagentes Reativos diversos modelos tem sido propostos para resolução de problemas em computação e engenharia. Para validar os modelos, sistemas de simulação podem ser utilizados para fornecer um referencial comum para o teste dos mesmos. Exemplos de sistemas de simulação podem ser encontrados nos projetos Simula(Frozza, 1997), Swarm(Minar, 2002) e Sieme(Magnin, 2002).

No entanto, se percebe que estes sistemas de simulação são, na sua maioria, baseados em grades cartesianas bidimensionais, onde um agente é representado pelo par *(x,y)*. Contudo,

grande parte dos problemas reais ocorre em um mundo tridimensional. Deste modo, é interessante que o sistema de simulação possa ocorrer também em um espaço tridimensional. Soluções encontradas em modelos bidimensionais não necessariamente serão soluções aplicáveis em um ambiente tridimensional. Da mesma maneira, as interações entre os agentes e destes com o ambiente podem ocorrer de maneira diversa em ambientes bidimensionais e tridimensionais. O ambiente desenvolvido utiliza um modelo de simulação discreto baseado em uma matriz tridimensional onde, num dado instante, somente um agente pode ocupar um determinado lugar no espaço. Inicialmente, está sendo realizado um estudo sobre um problema específico (Problema dos Robôs Mineradores) como forma de validação do ambiente e de análise dos agentes. Pretende-se, futuramente, ampliar o sistema, tornando-o o mais genérico possível.

3. O Problema dos Robôs Mineradores

O problema dos Robôs Mineradores foi apresentado para mostrar a funcionalidade emergente de um Sistema Multiagente Reativo por Steels(1990). O problema possui a seguinte formulação: dado um certo ambiente desconhecido, os agentes devem encontrar depósitos de minerais e seu conteúdo transportado a uma base central. Não existe nenhuma informação sobre as características do ambiente.

Este problema pode ser facilmente modelado para um sistema multiagente reativo, através da representação do ambiente por uma grade bidimensional, onde as posições dos agentes robôs, do depósito de minerais e da base podem ser representadas por coordenadas cartesianas deste ambiente. Os agentes *mineral* e *base* são fixos no ambiente, ou seja, suas posições não mudam no decorrer da simulação, enquanto que os agentes robôs são caracterizados por agentes reativos, que se movimentam livremente pelo ambiente, procurando o mineral e trazendo-o à base.

O problema dos Robôs Mineradores tornou-se um problema clássico na Inteligência Artificial Distribuída, sendo ainda largamente estudado. Diversos métodos e algoritmos podem ser encontrados na literatura, além de inúmeras variações do mesmo tema central. Dentre estes, citam-se: utilização de marcas (Drogoul, 1993), arquitetura de subordinação (Brooks, 1986) e *Fungus Eater* (Pfeifer, 1996).

O modelo desenvolvido neste trabalho foi baseado nas características apresentadas por Drougol(1993). O modelo é formado por um ambiente tridimensional, definido por uma matriz com cem unidades de lado. Existem três tipos de agentes envolvidos no modelo:

— base: situada na região central do ambiente, a base é utilizada como armazém dos minerais coletados pelos robôs;

- mineral: existem três minas espalhadas pelo ambiente, a uma distância fixa da base. Cada mina possui cem unidades de mineral;
- robôs: são considerados os agentes ativos da simulação. Movimentam-se por todo o ambiente em busca do mineral. Quando o encontram, devem retornar à base para descarregar a sua carga.

Os Robôs possuem dois sensores de percepção. O primeiro é utilizado para encontrar as minas com os minerais. Este sensor possui um alcance limitado, definido como uma circunferência de raio dois. O segundo sensor é utilizado para encontrar a base quando o agente está carregado. Este sensor é capaz de encontrar a base a qualquer distância da mesma.

4. Ambiente de Simulação Desenvolvido

O sistema desenvolvido é composto de cinco estruturas básicas: Mundo, Base, Minas, Robôs e Bandeiras (*flags*). Cada objeto possui um identificador único, que o qualifica e diferencia no mundo, conforme a tabela 1:

Tabela 1 – Relação dos identificadores dos objetos

Objeto	Identificador	Observações
Mundo	0x0000	Posição vazia
Bandeiras (flags)	0x0001	Incrementada em um para cada nova bandeira
Minas	0xAAAA	Três minas (ID + 1, ID + 2 e ID + 3)
Base	0xBBBB	Uma base no centro do mundo
Robôs (agentes)	0xFFFF	*n* agentes no sistema (ID + *n* identifica o robô)

O ambiente é simulado por um vetor de 100x100x100 posições numéricas (inteiros) com valor inicial de 0x0000. Os robôs são entidades de dimensão unitária, mantidos em um vetor de *maxrobo* posições, onde *maxrobo* é a quantidade de robôs que o sistema deve ter na simulação. Para cada robô é necessário armazenar a posição cartesiana *(x, y, z)*, sua carga (que determina se o robô está carregando um mineral), um contador (verificação do grau de utilização deste robô) e uma variável que armazena o identificador do mundo para a posição do robô. Quando o robô muda de posição, ele restaura o identificador anterior do mundo para a sua posição original, mantendo as informações das bandeiras (*flags*). A posição inicial dos robôs é aleatória, mudando a cada nova simulação.

As minas são entidades de dimensão dois, que armazenam uma quantidade fixa de unidades de mineral. A posição das minas no mundo é constante, não sendo alterada de uma simulação para outra. A base é posicionada no centro do mundo, sendo representada por um cubo de dimensão da ordem de duas unidades.

As bandeiras, ou *flags,* são entidades que podem ser inseridas ou retiradas pelos agentes robôs para marcar o caminho entre as minas e a base. As bandeiras podem ser sobrepostas, sendo que a mesma posição do mundo pode conter até 43.690 bandeiras.

Os elementos que compõem o ambiente e os agentes são criados através de chamadas para funções específicas que obedecem a uma ordem: criação do ambiente, criação da base, minas e robôs. Cada um destes elementos ocupa sua posição no mundo e o sistema não permite que sejam sobrepostos, excetuando-se as bandeiras que podem existir na mesma posição do agente robô.

A percepção do agente é limitada a duas unidades de distância em qualquer direção. Deste modo, o agente só consegue detectar outros agentes, minas e pistas quando estes se encontram a duas unidades da sua posição atual, conforme exemplificado na figura 1.

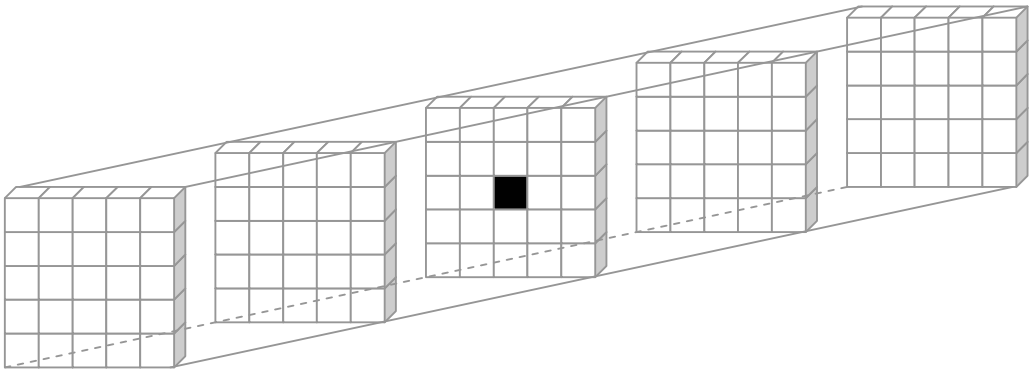


Figura 1 – Percepção do agente: o agente (preto) pode perceber qualquer objeto na área de percepção representada pelos cubos brancos

No sistema desenvolvido a posição da base é a única conhecida pelos agentes. Logo, quando o agente está carregado com um mineral, ele pode se deslocar imediatamente ao centro do mundo – onde está a base – para descarregar. As funções de percepção e movimentação foram desenvolvidas de maneira a generalizar o comportamento dos agentes.

Para visualizar o comportamento dos agentes no mundo, representado pelas suas ações, foi utilizada uma câmera sintética. A técnica da câmera sintética permite representar cenas tridimensionais em superfícies bidimensionais. Esta técnica faz analogia com a câmera fotográfica tradicional, onde a fotografia gerada no filme é a representação em duas dimensões

do ambiente que está sendo fotografado, o qual está em três dimensões. Alterando a posição da câmera fotográfica obtêm-se diferentes visões do objeto a ser fotografado. Da mesma forma, a câmera sintética permite ao observador da simulação posicionar a "lente" em qualquer ângulo ao redor do centro do mundo (*ponto focal*), bem como aproximar e recuar a "lente", permitindo observar detalhes da simulação.

5. Resultados e Discussão

O algoritmo utilizado para o desenvolvimento dos agentes robôs se baseou nas regras apresentadas em (Cordenonsi, 2002), as quais são citadas a seguir:

- SE não percebe mineral E não percebe outros agentes E não percebe bandeira E está descarregado ENTÃO faça um movimento aleatório;
- SE não percebe mineral E não percebe bandeira E está descarregado E percebe outros agentes ENTÃO siga o agente mais próximo;
- SE não percebe mineral E não percebe bandeira E está descarregado E atinge outro agente ENTÃO fuja deste agente;
- SE atinge mineral E está descarregado ENTÃO carrega mineral;
- SE percebe mineral E está descarregado ENTÃO vá até o mineral;
- SE percebe bandeira E está descarregado ENTÃO siga a direção da bandeira E retira bandeira;
- SE está carregado E atinge base ENTÃO descarrega mineral;
- SE está carregado E não atinge base ENTÃO vá para a base E deixa bandeira.

O comportamento global do sistema foi analisado para quatro situações:

- Algoritmo com Uma Bandeira e Fuga Programada: o agente, quando está carregado, retorna à base deixando um bandeira no caminho, formando uma trilha da base até a mina. Além disso, a bandeira não é retirada durante a simulação;
- Algoritmo com Duas Bandeiras e Fuga Programada: o agente, quando está carregado, retorna à base deixando duas bandeiras no caminho;
- Algoritmo com Uma Bandeira e Fuga Aleatória: o agente, quando está carregado, retorna à base deixando uma bandeira no caminho. Novamente, a bandeira não é retirada durante a simulação;
- Algoritmo com Duas Bandeiras e Fuga Aleatória: o agente, quando está carregado, retorna à base deixando duas bandeiras no caminho.

Além da distinção do número de bandeiras, os quatro algoritmos apresentam dois tipos diferentes de fuga denominados Fuga Programada e Fuga Aleatória. A fuga de um agente ocorre quando este se encontra muito perto de outros agentes robôs. Este comportamento, em conjunto com a regra que agrupa os agentes (quando o mesmo não sabe para onde ir, pois não percebe a mina e não está carregado), acaba por agrupá-los em bandos que buscam a mina. Deste modo, quando algum elemento do bando encontra a mina, diversos agentes robôs podem ajudar a carregar o mineral. No entanto, para evitar que o bando seja muito concentrado, é necessário que os agentes fujam um do outro quando estes se encontram muito próximos.

A fuga dos agentes foi implementada de duas formas: fuga planejada e fuga aleatória. A fuga planejada é realizada de tal forma que o agente que está em fuga se desloque na exata direção oposta do agente percebido, conforme apresentado na figura 2. Na fuga planejada, o agente sempre deverá escolher a direção oposta, não havendo outra possibilidade de ação.

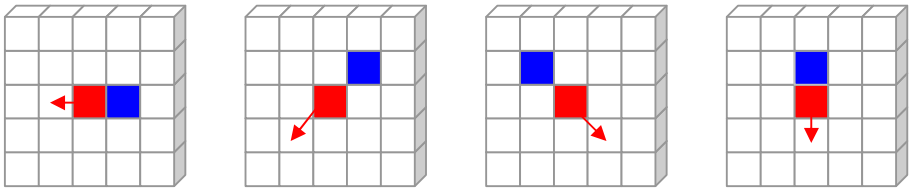


Figura 2 – Representação da Fuga Planejada : os agentes vermelhos, quando tocam nos agentes azuis, fogem para a direção representada pela seta

A fuga aleatória foi implementada de forma a aumentar as possibilidades de interação entre os agentes, permitindo que o agente em fuga escolha entre um maior número de possibilidades. Desta maneira, a fuga aleatória ocorre através da escolha de qualquer direção que seja contrária à do agente percebido, conforme ilustra a figura 3. Na fuga aleatória um agente sempre pode se deslocar para qualquer uma das nove posições possíveis.

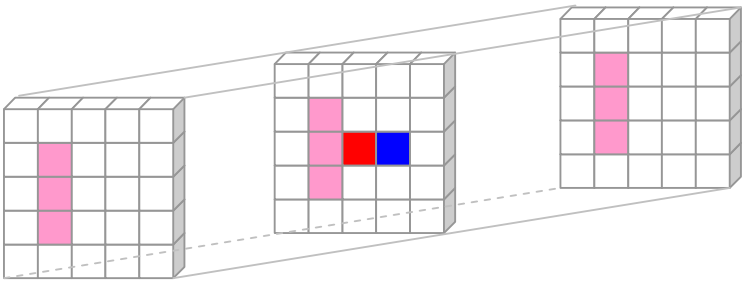


Figura 3 – Representação da Fuga Aleatória : o agente vermelho, quando toca o agente azul, foge para qualquer uma das direções representadas pelas posições em rosa.

Foram realizadas simulações variando o número de robôs entre um e duzentos. Para cada conjunto de robôs foram realizadas três simulações sendo que somente a média foi considerada para a análise final. Este teste foi repetido para as quatro variações do algoritmo discutidas anteriormente, totalizando 2.400 simulações. Também foi definido um limite de 30.000 passos de simulação. Caso os agentes não conseguissem recolher todos minerais neste limite, a simulação era finalizada. Os resultados estão apresentados na figura 4.

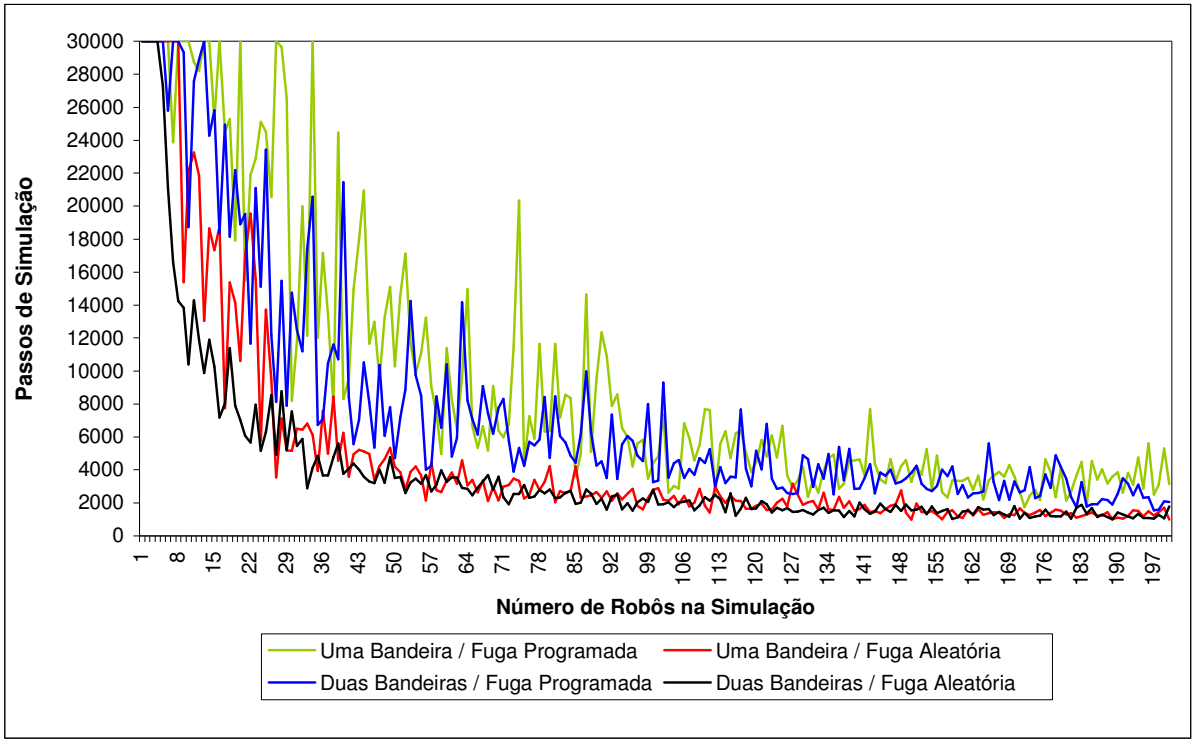
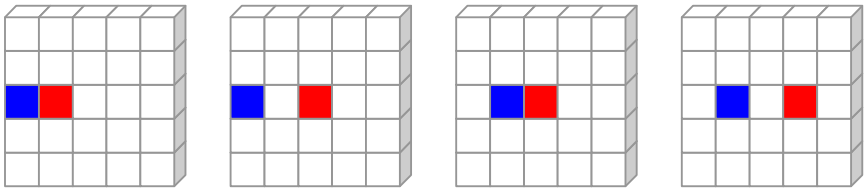


Figura 4 – Gráfico com o resumo das simulações realizadas

A modificação no número de bandeiras e a retirada das mesmas pelos agentes foi proposta por Drougol(1993) como forma de evitar que os agentes fiquem aglomerados em regiões próximas a minas vazias. As regras propostas para os Algoritmos de Uma Bandeira não prevêem que a trilha possa ser retirada pelos agentes, fazendo com que muitos robôs sigam a trilha até uma mina que pode estar vazia. Percebe-se, através do gráfico, que há uma melhora quando os agentes passam a deixar duas bandeiras e retiram uma no retorno à mina. Tal fato também é constatado em Drougol (1993) e Cordenonsi (2000).

No entanto, as maiores diferenças de performance ocorreram através da modificação da fuga dos agentes. A fuga programada, que induz o agente a seguir um caminho único, produziu resultados bem inferiores ao da fuga aleatória, não importando quantas bandeiras eram deixadas pelos agentes. Tal fato pode ser explicado pelo aumento de possibilidades de interação que os

agentes possuem com a fuga aleatória. No entanto, é importante salientar que a fuga programada acabou por produzir um problema inesperado que contribuiu para sua baixa performance. Quando somente dois agentes robôs estavam caminhando em grupo, havia uma tendência dos mesmos repetirem o mesmo caminho indefinidamente. Para explicar este fenômeno, considere dois agentes denominados *um* e *dois* que estejam sozinhos no ambiente. Se os dois agentes estão em posições contíguas, o agente *um* tenta fugir do agente *dois*. Desta maneira, ele se desloca para a posição oposta ao agente *dois*. O agente *dois*, por sua vez, percebe o agente *um* a uma distância de uma unidade e desloca-se na direção do agente *um*, que recomeça o ciclo. Esta situação pode ser visualizada na figura 5. Quando os dois agentes atingem o final do ambiente, a situação inverte-se e o caminho é percorrido novamente.



(a) *(b)* *(c)* *(d)*

Figura 5 – Problema da Fuga Programada : o agente vermelho (*1)* tende a fugir do agente azul *(2),* que persegue o primeiro agente.

Deste modo, vários agentes acabam por não participar da busca e coleta dos minerais pois permanecem indefinidamente nesta situação. A única forma de quebrar o ciclo é através da interferência de outros agentes (*mina, bandeira* ou *robô*).

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Através dos resultados apresentados em um ambiente de simulação para um problema já bastante estudado, algumas considerações podem ser realizadas quanto à construção de um sistema multiagente reativo. A dependência deste em relação as suas regras de comportamento é muito forte, pois toda sua atuação depende da percepção do ambiente e do que o agente foi programado a fazer no ambiente percebido. Qualquer modificação nestas regras pode trazer resultados bastante diversos no final da simulação. Outro fato a considerar é a diversidade dos ambientes propostos. Um bom comportamento em um dado ambiente não é condição única para que o mesmo tenha boa performance em ambientes diversos.

Também é importante salientar a importância da implementação do agente proposto. A modificação no algoritmo da fuga do agente foi o suficiente para gerar resultados bastante

diversos. Desta forma, além do cuidado com a construção das regras de comportamento, é importante também verificar como estas regras estão sendo implementadas.

Considerando as asserções acima, acredita-se que a melhor solução para os problemas apresentados é a construção de agentes reativos adaptativos, ou seja, que possam evoluir com o tempo e adaptar-se aos ambientes em que forem inseridos. No entanto, a forma de adaptação deve prover mecanismos para alteração de todos os detalhes que regem o comportamento do agente, pois qualquer situação pré-definida pode diminuir o espectro de possíveis soluções para os problemas propostos.

Deste modo, como trabalhos futuros, propõe-se a construção de um algoritmo evolutivo de tal forma que os agentes possam evoluir no decorrer do tempo, modificando seus próprios comportamentos e influenciando os demais agentes do ambiente, através da aplicação de algoritmos genéticos e conceitos da área de Vida Artificial.

7. Bibliografia

Brooks, R. A. (1986) "A Robust Layered Control for a Mobile Robot." IEEE Journal of Robotics and Automation, New York, v. 2, n. 1, Mar.

Cordenonsi, A.Z., Alvares, L.O. (2002) "An Evolutionary Behavior Tool for Reactive Multi-agent Systems." In: Bittencourt, G., Ramalho, G.L. (eds). Advances in Artificial Intelligence, Springer-Verlag : Berlin, n. 2507.

Cordenonsi, A.Z. (2000) Um Ambiente de Evolução de Comportamentos para Sistemas Multiagentes Reativos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Dissertação de Mestrado.

Drogoul, A., 1993. "De la Simulation Multi-Agents à la Résolution Collective de Problèmes." Paris, France: Université Paris VI. Thèse de Doctorat.

Ferber, J.; Gasser, L. (1991) "Intelligence artificielle distribuée." In: International Workshop On Expert Systems & Their Applications, 10., Avignon. Cours n. 9. France.

Frozza, R. (1997) "SIMULA – Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes Reativos". Porto Alegre: Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Magnin, L. (2002) "Sieme Project". http://www-laforia.ibp.fr/~magnin/

Minar, N., Burkhart, R., Langton, C., Askenazi, M. (2002) "The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations". http://www.santafe.edu/projects/swarm/.

Pfeifer, R. (1996) "Building Fungus Eaters: Design Principles of Autonomous Agentes," In: International Conference On Simulation Of Adaptive Behavior, 4. Proceedings... Cambridge: MIT. p. 3-12.

Steels, L. 1990. "Cooperation Between Distributed Agents Through Self-Organization." In: Decentralized A.I. Demazeau, Y. e Muller, J-P. (Eds.), North-Holland : Amesterdan.