

Comportamento de Múltiplos Personagens Bioinspirado em Colônias de Insetos

Lukas Eiky Kurata Takatani*

José Luiz de Souza Pio

Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Computação (ICOMP), Brasil

RESUMO

As colônias de formigas exibem um grande potencial como base de inspiração para o comportamento e controle autônomo de grupos de agentes em diferentes tarefas. Por meio da compreensão desse controle bioinspirado, pode-se desenvolver estruturas de controle para personagens não jogáveis comuns nos modernos jogos. Este trabalho aborda o problema de cooperação para a sobrevivência entre personagens autônomos por meio de uma concepção do comportamento natural das formigas em situação de ataque ao formigueiro, perseguindo os invasores em fuga por meio de estratégias baseadas na distribuição e reconhecimento do feromônio espalhado pelo ambiente. Com o objetivo de validar o método proposto, vários experimentos foram rodados em um simulador de jogo customizado, em específico, a versão de simulação do jogo de fliperama Ms. Pacman. Os resultados obtidos mostram o aumento da pontuação média dos resultados com controle bioinspirado, mostrando a viabilidade desse tipo de controle para jogos com múltiplos personagens não jogáveis.

Palavras-chave: Controle de Comportamento, Múltiplos Personagens, Bioinspiração.

1 INTRODUÇÃO

O controle de formação e interação entre múltiplos personagens sempre foi um desafio para a área da inteligência artificial. A adversidade de coordenar esses inúmeros atores impulsiona os pesquisadores a sempre buscarem novos meios de solução, mesmo que isso signifique se inspirar em áreas que à primeira vista, são totalmente divergentes [1]. Em consciência disso, o problema tratado neste projeto é sintetizado por meio da seguinte pergunta: Como aprimorar em um jogo as tarefas realizadas e as chances de sobrevivência de um grupo de personagens não jogáveis que podem perseguir ou serem perseguidos por um segundo personagem?

Este problema está relacionado com o problema clássico conhecido como problema de Perseguição-Evasão, onde originalmente buscava-se responder a seguinte questão: “Suponha que um homem está perdido em uma caverna escura. Um conjunto de buscadores que conhecem a estrutura dessa caverna é enviado para resgatá-lo. Qual é o número mínimo de buscadores necessários para encontrar o homem perdido na caverna, independentemente de como ele se comporte?”. A primeira solução encontrada foi transformar o ambiente da caverna em um grafo e , a partir deste grafo, calcular qual o número mínimo de buscadores necessários para encontrar o homem na caverna [2]. De maneira semelhante, o problema proposto objetiva “capturar” invasores em fuga dentro de um determinado ambiente, usando como modelo o processo organizacional de uma colônia de

formigas quando atacada por formigas de outra espécie.

A revista “Exame” mostrou que biólogos americanos descobriram formigas do gênero ‘*Temnothorax pilagens*’, que executam investidas em formigueiros de outras espécies para buscar formigas escravas. Graças a seu tamanho pequeno, as saqueadoras passam facilmente pela entrada da colônia inimiga e empregam uma camuflagem química para passar despercebidas. As formigas escravagistas simplesmente liberam substâncias químicas específicas que impedem que suas vítimas as reconheçam como inimigas. Geralmente, depois que um formigueiro é atacado por inimigos, a invasão se segue a um combate intenso. Mas, curiosamente, não só suas vítimas não se defendem, como elas lhes permitem levar livremente as larvas e até indivíduos adultos, que as saqueadoras, em seguida, fazem trabalhar a seu serviço.

As atividades cooperativas envolvem processos de controle e comunicação. Sabendo disso, as formigas são um exemplo perfeito de cooperação, sobrevivência e ordem. A forma mais comum de comunicação entre as formigas é por meio de substâncias químicas voláteis (odores) e de substâncias solúveis (sabores). Quando essas substâncias são produzidas pelos indivíduos para se comunicarem com outros indivíduos da mesma espécie elas são denominadas feromônios. Existem feromônios específicos para diversos fins como: alarme (utilizado para avisar sobre possíveis predadores ou ameaça para a colônia), recrutamento (utilizado para informar as companheiras sobre a presença de alimento), territoriais (utilizado para marcar os territórios de uso exclusivo da colônia) e reconhecimento (utilizado como sinal de reconhecimento específico dos indivíduos habitantes de cada colônia). Além da comunicação química existem outras como a visual, sonora e tátil [3].

2 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para o controle do comportamento dos personagens não jogáveis está baseada nos esquemas de múltiplos agentes com o objetivo de sobrevivência, referenciando as organizações das formigas. Um conjunto de regras, apresentados a seguir, é utilizado para conduzir o comportamento bioinspirado dos personagens.

2.1 Regras

A abordagem considera um sistema de n personagens nomeados de perseguidores em um ambiente bidimensional, procurando por m personagens alvos chamados de fugitivos. O mundo real é abstraído como uma grande malha e um sistema, na qual joga-se com as seguintes regras:

- 1) Existem no sistema n perseguidores e m fugitivos, sendo $n > m$.
- 2) Os perseguidores possuem um campo de visão. Esse campo é representado por um raio de d células extensas

*e-mail: lekt@icomp.ufam.edu.br

da malha e é destinado a reconhecer o ambiente em volta, avistar possíveis outros perseguidores para troca de informações ou perseguir o fugitivo alvo. Os fugitivos também possuem o seu campo de visão determinado por d células.

- 3) Os perseguidores e os fugitivos movem-se célula por célula no ambiente. A cada unidade de tempo decorrido, todos os jogadores movem-se simultaneamente.
- 4) Um fugitivo é capturado se a sua coordenada for igual a de um ou mais perseguidores em um determinado tempo.
- 5) Para fins mais amplos, o jogo é simétrico, podendo os personagens perseguidores serem destruídos pelo ataque dos fugitivos em um determinado momento. Isso só é possível, quando o fugitivo adquirir um item que se encontra em algum local do mapa, podendo por um curto espaço de tempo atacar os seus perseguidores.
- 6) Contudo, ao serem destruídos, os perseguidores renascem no centro do mapa depois de t tempo decorrido.
- 7) O jogo tem o seu fim quando todos os fugitivos forem capturados.

Essas regras são aplicadas sobre o modelo discreto de mundo mostrado a seguir.

2.2 Modelo Discreto do Ambiente

O mundo do jogo é abstraído por meio de uma grade regular formada por células que representam a presença ou não de obstáculos. Um grafo imerso nessa grade com os seus nós representam os caminhos livres para a movimentação dos personagens. Existem ainda obstáculos que serão representados por células inexistentes, e portanto, nós inexistentes. Por final, também haverá itens espalhados pelo mapa para aumento de pontos e outros que concedem a habilidade de ataque aos fugitivos, tendo a célula ou o nó, variáveis para ponto ou habilidade, respectivamente.

É permitido aos personagens moverem-se célula por célula de sua localização atual para qualquer célula adjacente, seja horizontalmente ou verticalmente que possua ligação. A diferenciação dos personagens perseguidores para o personagem fugitivo, será no objetivo de cada e na estratégia de movimentação e sobrevivência detalhados a seguir:

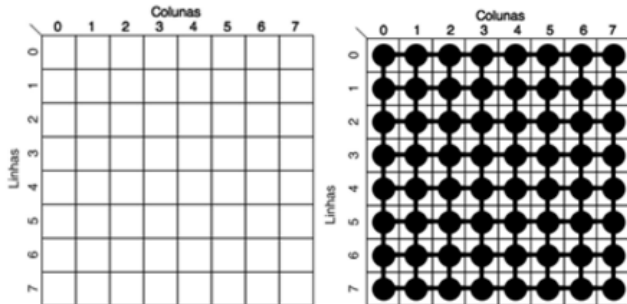


Figura 1: Abstração do ambiente para o modelo de jogos de Perseguição e Evasão, sendo (a) um mapa de malha e (b) um grafo equivalente.

2.3 Comportamento Individual

2.3.1 Personagem Perseguidor

O comportamento individual discreto do personagem perseguidor é representado pelo autômato, mostrado na Figura 2, usando um ciclo de quatro estados finitos: busca; perseguição; eventualmente

de evasão e inativo. Primeiramente, o estado inicial na qual cada indivíduo perseguidor se encontra é o de Busca. Nele o personagem é guiado por feromônios de outros personagens perseguidores ou é atraído por rastros de feromônios de personagens fugitivos. Quando esse personagem avista algum fugitivo por meio de seu campo de visão definido por um raio de d células extensas, esse entra em estado de Perseguição. Neste estado, o personagem calcula o caminho mais curto entre ele e o fugitivo e o percorre com o objetivo de alcançar o personagem alvo. No entanto, se outros personagens perseguidores forem avistados, haverá trocas de informações de rotas, fazendo com que cada indivíduo perseguidor escolha rotas alternativas na intenção de cercar o personagem fugitivo.

Após o estado de Perseguição, têm-se duas opções: voltar para o estado de Busca, quando o fugitivo é alcançado, podendo também ter sido perdido ou o perseguidor é levado ao estado de Evasão. Para ser levado a esse estado, o personagem fugitivo precisa adquirir a habilidade de atacar os seus perseguidores por meio do item que lhe concede tal capacidade. O personagem, que anteriormente estava no papel de perseguidor, passa a evitar ao máximo o personagem fugitivo. Essa troca de papéis foi inspirada no artigo de Recio et al [4], tais autores consideram a auto adaptação parte importante de um modelo proposto. Então, enquanto o personagem fugitivo possuir a habilidade de ataque, o perseguidor escolhe sempre os caminhos inversos ao seu personagem fugitivo indesejável. Uma vez esgotado a habilidade de ataque do fugitivo, o personagem perseguidor volta ao modo Perseguição.

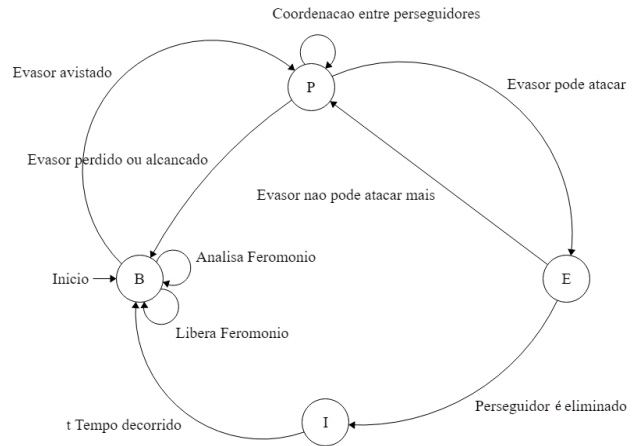


Figura 2: Comportamento individual do personagem Perseguidor, sendo: B de busca; P de perseguição; E de evasão e I de inatividade.

2.3.2 Personagem Fugitivo

O comportamento individual discreto do personagem fugitivo difere do perseguidor pelas determinadas características:

- O seu objetivo não se tem claramente um fim definido, a não ser que seja estabelecido manualmente pelo programador.
- Os atrativos de se escolher determinados caminhos podem variar por causa da movimentação e localização dos agentes perseguidores.

O objetivo do indivíduo fugitivo é conseguir a maior pontuação possível recolhendo pontos no mapa, enquanto evita os personagens perseguidores. Para isso, duas rotas são calculadas

pelo personagem: uma representa o caminho com pontos, onde pontos e itens de habilidade de ataque podem ser adquiridas, e a outra rota representa o caminho mais seguro a se seguir (com relação aos seus perseguidores).

A escolha de movimentação do personagem fugitivo é simples. Ele escolhe o caminho mais seguro se avistar algum personagem perseguidor. Se não, percorre o caminho que possui as melhores opções de pontos e itens de habilidade. A ideia do personagem evitar a escolha de caminhos sem propósito teve como base o trabalho de Zhai et al [5] e seu uso de grupos de robôs móveis.

2.4 Aplicações Experimentais

Com o objetivo de validar o método proposto, os experimentos foram rodados em um simulador de jogo customizado. O trabalho de construção do ambiente de simulação pode ser dividido nas seguintes sub-tarefas:

- Implementação do simulador do jogo *Ms. Pacman* criado por Williams et al [6], que reproduz o comportamento original do jogo.
- Desenvolvimento de software que pode extrair informações sobre o estado do jogo por frames que possibilitariam o desenvolvimento do controle dos personagens em tempo real.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação de Feromônio Virtual na Comunicação entre Personagens

Primeiramente, foi proposto que no caso dos personagens perseguidores, cada indivíduo soltasse um rastro de feromônio por onde passasse, divulgando aos outros perseguidores receptores, informações sobre o ambiente. Tais informações são os trajetos selecionados pelo personagem e se ele avistou em algum momento o personagem fugitivo. Esse mecanismo é destinado para comunicações indiretas, inspirado no quesito assíncrono do artigo de Ilie e Badica [7].

No entanto, no decorrer do desenvolvimento do controle supervisorio percebeu-se que já havia um modelo de implementação de mensagens entres os personagens perseguidores no próprio modelo do simulador. Esse componente responsável pelas mensagens, se baseava em simples variáveis inteiras representando diferentes tipos de mensagens, seguidas de uma próxima variável que representava a variante do tipo de mensagem (inteiro representando qual nó do grafo). O conceito de memória parcialmente distribuída é bem parecido com a de Winder e Reggia [8].

Tipo de Mensagem	Descrição
Ms Pacman foi avistada em	Mensagem informando aos outros agentes que Ms PacMan foi avistada
Eu estou em	Mensagem informando aos outros agentes onde o emissor está localizado naquele momento
Eu estou indo para	Mensagem informando aos outros agentes perseguidores para onde o agente emissor está indo

Tabela 1: Tabela de mensagens no simulador **Ms Pacman**.

Juntamente com as mensagens diretas nativas, implementou-se uma versão rudimentar do rastro de feromônio como um meio de comunicação indireta por mensagens. Isso foi possível ao limitar a

possibilidade de as mensagens serem enviadas e lidas, somente em determinados locais do mapa (nós do grafo) por onde o personagem percorria. Ao comparar e avaliar, se percebeu então que os personagens perseguidores simplesmente atualizavam as mensagens originadas por feromônio pelas diretas, pois as mensagens indiretas eram defasadas em comparação. Isso, juntamente com a natureza simples de implementação das mensagens diretas foi o catalizador para decidir-se utilizá-lo e focar a parte do feromônio em outros componentes mais apropriados do sistema de controles dos personagens.

3.2 Análise de Feromônio Virtual como mecanismo de Sobrevivência

Agora, com a comunicação estabelecida, o campo de visão possui um papel crucial. No momento em que personagens perseguidores percebem a presença de outros indivíduos perseguidores por meio do seu campo de visão estabelecido, a troca de informação é feita diretamente dentro desse campo. As informações são as mesmas da comunicação indireta: os trajetos escolhidos pelo personagem e se ele avistou em algum momento determinado fugitivo, mostrando sua localização naquele momento. Porém, se algum perseguidor estiver em estado Perseguido, as informações que ele passará para os demais personagens, serão interpretados com a coordenação em ação, pois os caminhos escolhidos por personagens anteriores, serão evitados e novos caminhos serão escolhidos com o intuito de cercar os fugitivos.

Porém, após a execução do simulador, notou-se que o campo de visão dos personagens seria mais realista e aplicável se observassem somente parcialmente o ambiente. Com esse intuito, os perseguidores agora possuem um campo de visão que é representado por retas horizontais e verticais de d células extensas na malha obstruídos por limitações do mapa. O objetivo dessa representação de visão mais realista é a de reconhecer o ambiente em volta, avistar possíveis outros perseguidores para troca de informações por meio das mensagens ou perseguir o fugitivo alvo sem restringir sua visão demasiadamente. Os fugitivos também possuem o seu campo de visão determinado por retas horizontais e verticais de d células extensas.

Agora que o sistema de controle possui várias ferramentas que possibilitam a sua experimentação, o próximo passo seria então decidir o seu ponto central de bioinspiração. Portanto nada mais natural que se basear nas bem adaptadas formigas do gênero ‘*Temnothorax pilagens*’ citadas anteriormente neste trabalho. O seu comportamento é muito interessante, pois elas executam investidas em formigueiros de outras espécies ao liberarem substâncias químicas específicas que impedem que suas vítimas as reconheçam como inimigas. O mecanismo de sobrevivência proposto então, baseado no intuito de trazer uma abordagem mais dinâmica entre personagens perseguidores e fugitivos é na ocasião em que os fugitivos adquirem os itens que lhe dão a possibilidade de capturar os personagens predadores. Porém agora, ao invés de liberarem feromônios atraentes aos personagens predadores, eles transformam os feromônios exalados em uma imitação dos feromônios dos próprios predadores, com o intuito de se camuflarem entre eles e possibilitar a captura destes personagens mais facilmente enquanto a habilidade durar. Isso faz com que os perseguidores não notem a presença do personagem fugitivo, agora com a habilidade de caçar os seus predadores. E assim, simulando o comportamento das formigas saqueadoras. Esse modelo será implementado ao fazer com que a partir do momento que o personagem fugitivo obter o item de captura, seja visto não mais como um personagem fugitivo, mas como um predador também, confundindo os seus adversários no ato da perseguição.

3.3 Análise de resultados de simulação e teste

Assim tendo-se definido a mecanismo bioinspirado, implementou-se a simulação do feromônio no sistema com o objetivo de o pôr em prática e observar a viabilidade do mecanismo de sobrevivência baseado na formiga saqueadora.

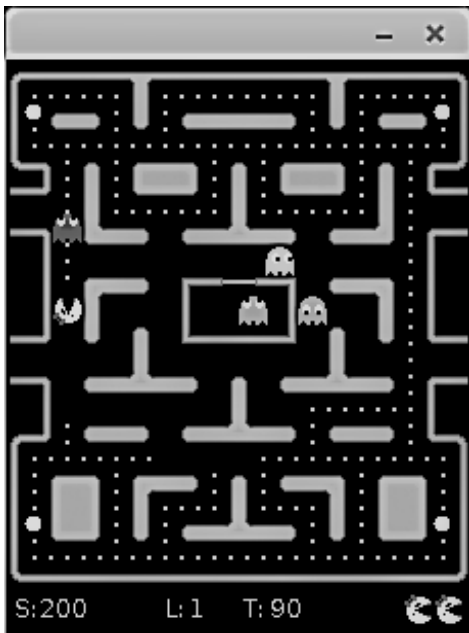


Figura 3: Tela de jogo do simulador de **Ms. Pacman**.

O teste a seguir foi executado ao utilizar os tipos de controles disponíveis para o nosso simulador: *StarterPacman*, primeiro controle simplório que já vem implementado no simulador; *POPacman*, que utiliza a visão parcialmente observável e mais realista anteriormente detalhada e, por último, o *POPacmanBIO*, que representa o controle supervisor do *Pacman* bioinspirado abordado neste trabalho. Depois de efetuar a simulação cem vezes para cada tipo de controle, foi possível comparar as pontuações de ambos os personagens ao calcular a pontuação média das cem pontuações registradas. Assim, é possível analisar claramente os modelos.

TIPOS DE CONTROLES	PONTUAÇÃO MÉDIA	MÁXIMO DE FASES
StarterPacman	2476	Primeira Fase
POPacman	3240	Segunda Fase
POPacmanBIO	4374	Segunda Fase

Tabela 2: Tabela de pontuações registradas depois de 100 simulações de cada modelo de controle de *Ms. Pacman*.

É possível notar que, a pontuação média de cada modelo teve um aumento correspondente a complexidade de cada controle. Outra característica interessante foi que somente os modelos posteriores mais realistas que utilizam da visão parcialmente observável do ambiente chegaram até a segunda fase do jogo. Por fim, fica evidente que o modelo proposto neste trabalho se sobrepôs aos demais modelos no quesito de pontuação registrado pelo simulador depois das cem execuções. Isso se deve a *Ms. Pacman* exalar os feromônios de seus companheiros confundindo

seus perseguidores. Ao aproveitar este momento de confusão, ela elimina os personagens perseguidores, dos quais antes estavam caçando, agora estão sendo caçados.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

As atividades cooperativas de sobrevivência envolvem processos de controle e comunicação. Sabendo disso, as formigas são um exemplo perfeito. A forma mais comum de comunicação entre as formigas é através de substâncias químicas voláteis (odores) e de substâncias solúveis (sabores). Quando essas substâncias são produzidas pelos indivíduos para se comunicarem com outros indivíduos da mesma espécie elas são denominadas feromônios.

Já que tais soluções da natureza são, em sua maioria, resultado de um processo evolutivo efetivo. Então, nada mais natural que tais se tornem alternativas muito atrativas para a computação desbravar. Em consciência disso, o problema tratado neste projeto, sintetizado de como aprimorar tarefas realizadas e esquemas de sobrevivência de múltiplos personagens autônomos, foi encarado de forma bioinspirada ao utilizar os feromônios de insetos.

Ao pôr em teste o modelo proposto e analisar os resultados, comparou-se as pontuações médias com o máximo de fases que cada tipo de controle conseguia atingir e verificou-se que o controle de comportamento baseado na formiga saqueadora é a que obteve a maior pontuação média e se igualando na obtenção do máximo de fases. Isso demonstra então, que a bioinspiração é uma forma viável e criativa de implementação do controle de comportamento em modelos com múltiplos personagens.

Futuros trabalhos têm a oportunidade de focarem-se nas hierarquias estabelecidas dentro dos formigueiros, com as suas divisões de trabalhos altamente distintas e cooperativas.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Barnes, W. Alvis, M. F. Anne, K. Valavanis and M. Wilfrido. Heterogeneous Swarm Formation Control Using Bivariate Normal Functions to Generate Potential Fields. *Control and Automation, MED '06, 14th Mediterranean Conference*, 2006.
- [2] A. Gonçalves, E. Carvalho, L. F. E. Molina. *Anais do Déc. Seg. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)*, Natal, 2015.
- [3] B. Borror and D. DeLong. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*, 7:864, 1988.
- [4] G. Recio, E. Martín, C. Estébanez e Y. Saez. AntBot: Ant Colonies for Video Games. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, volume 10, n.10, 2011.
- [5] S. Zhai, B. Fidan, S. Ç. Ozturk, and V. Gazi. Single View Depth Estimation Based Formation Control of Robotic Swarms: Obstacle Avoidance, Simulation and Practical Issues. *16th Mediterranean Conference on Control and Automation Congress Centre*, Ajaccio, France, 2008.
- [6] R. Williams Piers, D. Perez-Liebana and M. Lucas Simon. Ms. Pac-Man Versus Ghost Team CIG 2016 Competition, *IEEE Computational Intelligence and Games Conference*, 2016.
- [7] Ilie and Badica. Multi-agent Approach to Distributed Ant Colony Optimization. *Science of Computer Programming* 78:762-774, 2011.
- [8] R. Winder and J. A. Reggia. Using Distributed Partial Memories to Improve Self-Organizing Collective Movements, *Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part B: Cybernetics*, volume 34, N.4. 2004.