

INVESTIGAÇÃO DA CARACTERÍSTICA DE ADAPTAÇÃO E ROBUSTEZ DE UMA ESTRATÉGIA DE COORDENAÇÃO DE MÚLTIPLOS ROBÔS PARA A TAREFA DE VIGILÂNCIA.

Kevin Levrone Rodrigues Machado Silva (PIC), Rodrigo Calvo (Orientador),
e-mail: ra89275@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

Área: Ciências Exatas e da Terra / Subárea: Ciência da Computação.

Palavras-chave: Sistemas de múltiplos robôs, computação bio-inspirada, algoritmo de colônia de formigas.

Resumo:

Uma estratégia distribuída de coordenação, modelada de acordo com uma versão modificada do algoritmo que simula o comportamento de formigas, guia robôs móveis para as regiões não exploradas ou não recentemente exploradas. Neste sentido, a proposta a ser apresentada consistiu na análise desta estratégia de coordenação de múltiplos robôs quanto à sua robustez quando o número de robôs é alterado durante a execução da tarefa. Portanto, foram simuladas a falha e a reativação de um ou mais robôs no grupo com o intuito de analisar a adaptação dos agentes remanescentes e a eficácia da estratégia. Estas simulações foram executadas no simulador *Morse* e os resultados obtidos foram organizados em tabelas e analisados.

Introdução

Em um sistema de múltiplos agentes, a cooperação ocorre quando o resultado de uma atividade realizada individualmente fornece informação suficiente para que outro agente execute sua atividade. Se a integração das atividades resultar na solução de um dado problema, diz-se que os robôs desempenharam uma tarefa cooperativamente. E um importante aspecto a se considerar é a coordenação de tais agentes que permite o sistema executar tarefas eficientemente como exploração, cobertura e vigilância de ambientes (Pippin et al., 2013).

A estratégia de coordenação considerada, denominada Sistema de Vigilância baseado na Modificação do Algoritmo de Colônias de Formigas (*Inverse Ant System-Based Surveillance*, IAS-SS), foi desenvolvida em (Calvo et al., 2012) de acordo com uma modificação do algoritmo de formigas (Dorigo, 1992). A estratégia IAS-SS é aplicada em tarefas de exploração e vigilância de ambientes desconhecidos. Diferentemente de

algoritmos tradicionais, o feromônio depositado por um agente possui propriedade repulsiva.

A proposta desta pesquisa é investigar o comportamento adaptativo do sistema de múltiplos robôs quando um ou mais deles falha, ou é reativado no ambiente. Constatou-se em (Calvo et al., 2012) a escabilidade da estratégia. Porém, experimentos distintos foram realizados com quantidades diferentes de robôs. Nesta proposta, pretende-se analisar a característica de adaptabilidade da estratégia quando a quantidade de robôs é alterada durante a execução da tarefa. Ademais, também é investigada a influência da taxa de evaporação no desempenho da estratégia.

Materiais e métodos

A estratégia IAS-SS envolve um grupo de robôs capazes de se locomoverem e tomarem decisões baseadas em estímulos recebidos do ambiente. Enquanto navegam pelo ambiente, uma substância específica é depositada em suas trajetórias, o feromônio. Os robôs processam individualmente os estímulos obtidos a partir do feromônio encontrado ao seu redor e ajustam suas direções de movimento. Devido à característica repulsiva do feromônio, a estratégia tende a guiar os agentes para regiões não recentemente exploradas.

O modelo sensorial adotado em cada robô detecta feromônio a uma distância específica R , na extensão de 90° a esquerda até 90° a direita em relação à sua direção de movimento. A área de abrangência é coberta por 360 leituras com uma resolução de $0,5^\circ$. Cada leitura corresponde à quantidade de feromônio em um ângulo A , $-90^\circ < A < 90^\circ$. Para determinar o novo ângulo de direção, consideram-se todos os ângulos A e atribui-se um valor de probabilidade inversamente proporcional à quantidade de feromônio detectado no referido ângulo.

Considere que L_t^k e Q são a área de abrangência do sensor de um robô k na iteração t e o espaço completo do ambiente, respectivamente, tal que $L_t^k \subset Q \subset \mathbf{R}^2$. A concentração de feromônio $\Delta_q^k(t)$ que o k -ésimo robô deposita na posição q é dada por:

$$\Delta_q^k(t) = (\tau_{max} - \tau_q(t-1))\Gamma_q^k(t), \text{ e} \quad (1)$$

$$\Gamma_q^k(t) = \begin{cases} \delta e^{-\frac{(q-q_k)^2}{\lambda^2}}, & \text{se } q \in L_t^k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

em que q_k é a posição do k -ésimo robô; λ é a taxa de dispersão de feromônio; e $\delta \in (0,1)$.

A cada instante, uma quantidade de feromônio τ_q na posição q evapora a uma taxa ϕ devido à característica volátil da substância. A evaporação (equação (3)) permite que áreas já visitadas tornem-se atrativas novamente.

$$\varepsilon_q(t) = \phi\tau_q(t) \quad (3)$$

As simulações foram executadas no simulador *Morse* de maneira que em algum instante, as ações de um robô fossem interrompidas. Assim, este robô deixa de depositar feromônio em seu local de atuação, possibilitando que outros agentes se aproximassem desta área. Outro cenário simulado é a reativação de um ou mais robôs em um determinado momento. A taxa ϕ é outro fator utilizado para analisar a adaptação e robustez da estratégia.

Resultados e Discussão

Para avaliar a robustez da estratégia de coordenação IAS-SS, são propostos cenários em que alguns parâmetros são alterados, a saber: a quantidade de robôs, posição inicial destes e a taxa de evaporação. Os experimentos são realizados em ambientes divididos em grandes áreas denominadas de salas. No *cenário 1*, cinco robôs iniciam em uma mesma sala, um deles falha na iteração 1000 e outro na iteração 2000. Já no *cenário 2*, cinco robôs iniciam em uma mesma sala, um deles falha na iteração 1000 e é reativado na iteração 2000, enquanto outro falha na iteração 1500 e é reativado na iteração 2500. O *cenário 3* é semelhante ao primeiro, porém os robôs iniciam em salas distintas. A mesma lógica se aplica ao *cenário 4* em relação ao segundo cenário. Para os cenários 5, 6 e 7, cinco robôs (que se mantêm ativos durante a simulação) iniciam em uma mesma sala e apenas a taxa de evaporação é definida como 0,005, 0,01 e 0,015, respectivamente. Para cada cenário, foram realizadas 10 simulações com 3000 iterações. As Tabelas 1-3 apresentam o desempenho da estratégia para todos os cenários. O critério de avaliação utilizado foi a média de ciclos de vigilância completados. Um ciclo de vigilância ocorre quando todas as regiões do ambiente são visitadas pelo menos uma vez pelos robôs. Para tanto, o ambiente é dividido em pequenos setores quadrados de tamanho pré-definido. No instante em que todos os setores são visitados pelo menos uma vez, é dito que um ciclo de vigilância ocorreu e, então, um novo ciclo se inicia, considerando que nenhum setor foi visitado. De acordo com os eventos de falha e ativação de robôs nos cenários, as tabelas apresentam a média de ciclos de vigilância nos intervalos entre estes eventos e também para a toda a simulação.

Tabela 1 – Média de ciclos por intervalo de iterações para os cenários 1 e 3.

| Intervalos | Cenário 1 | | | | Cenário 3 | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|--------|
| | 1-1000 | 1001-2000 | 2001-3000 | 1-3000 | 1-1000 | 1001-2000 | 2001-3000 | 1-3000 |
| Média de ciclos | 4.7 | 3.8 | 3.1 | 11.6 | 3.5 | 2.9 | 4.7 | 11.2 |

Tabela 2 – Média de ciclos por intervalo de iterações para os cenários 2 e 4.

| | Intervalos | | | | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| | 1-1000 | 1001-1500 | 1501-2000 | 2001-2500 | 2501-3000 | 1-3000 |
| Cenário 2 | 4.3 | 2.2 | 1.5 | 2.3 | 2.6 | 12.9 |
| Cenário 4 | 4.9 | 2.0 | 1.4 | 2.2 | 2.8 | 13.3 |

Tabela 3 – Média de ciclos por intervalo para taxas distintas de feromônio.

| | Intervalos | 1-1000 | 1001-2000 | 2001-3000 | 1-3000 |
|--|------------|--------|-----------|-----------|--------|
| Cenário 5 - ϕ : 0,005 | | 4.2 | 5.4 | 5.4 | 15.0 |
| Cenário 6 - ϕ : 0,01 | | 3.7 | 4.8 | 4.5 | 13.0 |
| Cenário 7 - ϕ : 0,015 | | 4.2 | 5.2 | 5.5 | 14.9 |

Observa-se que a estratégia IAS-SS executou a tarefa de vigilância de forma satisfatória para todos os cenários. Obviamente, a média de ciclos completados é menor para os intervalos em que houve a falha de robôs. Este valor volta a subir quando os robôs são reativados. Nota-se também que o desempenho da estratégia é semelhante independente da posição inicial dos robôs. Por fim, nota-se pouca variação no desempenho quando a taxa de evaporação é alterada, sendo superior para a taxa de 0,005.

Conclusões

A estratégia IAS-SS foi avaliada sob a alteração de parâmetros que alteram a configuração da simulação. Para qualquer cenário proposto, a estratégia foi capaz de executar a tarefa de vigilância mesmo com número reduzido de robôs. Isso mostra a capacidade de adaptação e robustez da estratégia para situações diversas. Ou seja, a estratégia bio-inspirada de coordenação é independente de parâmetro. Para trabalhos futuros, pretende-se aplicar mais valores para a taxa de evaporação e novos valores para a taxa de dispersão de feromônio. Além disso, deve-se verificar a robustez da estratégia quando a estrutura do ambiente é alterada.

Referências

CALVO, R., OLIVEIRA, J.R., FIGUEIREDO, M., ROMERO R.A.F. A bioinspired coordination strategy for controlling of multiple robots in surveillance tasks. **International Journal on Advances in Software**. v. 5, p. 146-165. IARIA, 2012.

DORIGO, M. **Optimization, Learning and Natural Algorithms**. Tese de Doutorado, Politecnico di Milano, Italy, 1992.

PIPPIN, C.E., CHRISTENSEN, H., WEISS, L.L. Dynamic, cooperative multi-robot patrolling with a team of UAVs, **Proceedings of the SPIE 8741, Unmanned Systems Technology XV**, 874103, 2013.