

Relatório Parcial

Estudo sobre métodos de deslocamento de enxames de robôs
considerando uma tarefa de transporte de objetos

Processo: 2016/25463-1
Modalidade - Categoria: Iniciação Científica - IC
Vigência : 01/04/2017 a 31/03/2018
Período referente: 01/04/2017 a 10/09/2017

Setembro de 2017
ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
USP - São Carlos

Orientadora:
Profa. Dra. Roseli Aparecida Francelin Romero

Bolsista:
Bruna Yukari Fujii Yoshida



1 Resumo

Enxames de robôs são sistemas multirrobóticos inspirados em comportamentos de determinados grupos de animais. A robótica de enxames visa a criação de comportamentos coletivos flexíveis, robustos e descentralizados para a coordenação de grandes quantidades de robôs. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de um grupo de robôs na tarefa de deslocamento de objetos, de acordo com o ambiente ao seu redor, aplicando métodos que auxiliem a execução da tarefa. Será analisado um único método de deslocamento de objetos, a convecção granular, combinado com os métodos de deslocamento e cobertura de área. Para a realização do projeto, a autora estudou estratégias de movimentação baseadas na técnica de Campos Potenciais, Diagrama Centroidal de Voronoi, e métodos de transporte de objetos. A implementação foi feita em *python*, na interface da biblioteca *PyGame*.

Uma equipe de robôs relativamente simples pode ter desempenho muito mais alto que um único robô de complexidade alta; eles podem carregar objetos muito mais pesados do que seu próprio peso e entrar em lugares de difícil acesso. As áreas de aplicação vão de uso militar em guerra até assistência em tarefas cotidianas como carregar objetos em terreno desnivelado.

Com o crescimento da robótica de enxames, sistemas multirrobóticos em que robôs fisicamente simples interagem entre si produzindo comportamentos emergentes sem a necessidade de um controle central[1], surgem problemas quanto a controlar tais robôs. Grandes enxames de robôs com alta capacidade em realizar tarefas podem exibir comportamentos complexos com capacidade de escapar ao entendimento e controle humano. Assim, pode-se observar a relevância dos estudos sobre enxames que representam parte do futuro da robótica, com prioridade em analisar o desempenho dos robôs aplicando-se diferentes métodos de controle.

Neste trabalho, é estudado e analisado o desempenho de enxames de robôs para a tarefa de transporte de objetos, em que cada robô pode empurrar um objeto até um local desejado, considerando tanto o ambiente quanto a posição do objeto desconhecidos.

O transporte de objetos é uma tarefa fundamental e recorrente na robótica. Utilizando vários robôs, tem-se a vantagem de baixo custo de produção em comparação com a construção de um único robô mais complexo. O foco é estudar sistemas multi-robóticos em que o agente tem requisitos mínimos de sensoriamento e de comunicação, e consiga manipular objetos somente empurrando-os. Atualmente, a tarefa nesta escala é realizada aplicando-se campos externos, como campos magnéticos ou manipulação por micro-piças e cercando um objeto com um enxame de agentes. Neste trabalho, é utilizado o método de deslocamento por Convecção Granular, que é baseado no *Brazil Nut Effect*, porém ao invés de atuar por gravidade ou forças externas, a convecção granular é feita por robôs autopropulsionados, que podem ser guiados pela aplicação de um campo externo[2].

2 Objetivos Propostos

Neste trabalho, temos um objetivo principal, que está dividido nas etapas da tarefa proposta, que é a localização e transporte de um objeto que pode ser identificado pelos robôs em um ambiente desconhecido.

Será implementado o método de transporte por convecção granular atuando juntamente com métodos de deslocamento e percorrimento de área, avaliando o desempenho em cada etapa:

- Teste do acréscimo de métodos de cobertura de área na estratégia de convecção granular. Será testada a hipótese de que o espalhamento estimulado irá agilizar o transporte do objeto se considerado que este é feito a partir da aplicação de forças repulsivas por cada robô. Os métodos a serem testados são o *SLACS* e campos potenciais.
- Teste do acréscimo de métodos de deslocamento à convecção granular. Será testado a hipótese de que o método de locomoção irá melhorar o deslocamento dos robôs que se locomoverão mais coerentemente comparado à simples aplicação de forças repulsivas entre eles. O método a ser testado é o de navegação proxêmica.
- Teste do acréscimo de métodos de locomoção combinados com cobertura de área.

3 Metodologia

O projeto foi simulado na biblioteca multimídia para *python PyGame* [3], utilizando uma interface gráfica amigável ao usuário com controle por mouse e setas do teclado. A interface foi inspirada na aplicação de Becker et al.[4], que fizeram jogos de controle de enxames para realizar tarefas para navegador analisando os dados fornecidos em cada jogo realizado para entender melhor o comportamento de enxames.

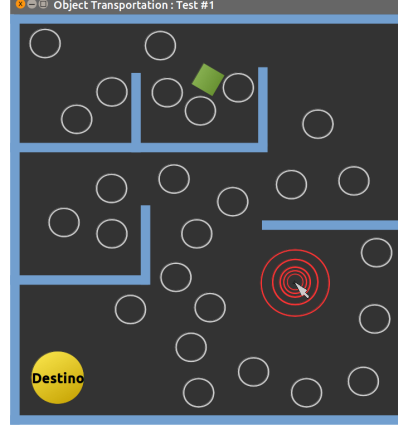


Figura 1: Modelo de aplicação do Projeto

Simulando um enxame de robôs descentralizado atuando em um ambiente virtual, os robôs autonomamente realizam a tarefa designada. Cada um destes robôs tem seu próprio raio de comunicação e de sensoriamento.

A tarefa que o enxame deve cumprir é a de transporte de objetos passivos. Este transporte irá envolver o algoritmo de convecção granular: quando o objeto for encontrado, o agente irá informar os agentes em seu raio de comunicação para que, juntos, tentem mover o objeto através da convecção granular. O objeto será empurrado a partir da aplicação de forças repulsivas cuja intensidade aumentará com a proximidade de cada robô.

Será feita a comparação do método original com a adição de três regras diferentes: Regra de cobertura de área do *SLACS*; Regra de deslocamento por campos potenciais; Regra de navegação em grupo coerente com multiagentes recíprocos e comportamento de proximidade.

Para podermos mesclar os métodos, tendo em vista que todos funcionam colocando uma força ou velocidade para o agente se mover na direção desejada, as velocidades resultantes de cada método, considerando a direção, serão multiplicadas por constantes diferentes e depois somadas.

Para sabermos o desempenho de cada algoritmo, será feita a comparação considerando as seguintes métricas: duração da realização das tarefas (localizar e transportar), número de colisões entre agentes durante a navegação, número de agentes e tamanho diametral dos agentes e raio de comunicação.

A convecção granular é feita aplicando uma força repulsiva externa à posição de destino desejado do objeto e uma força aleatória. Os robôs ocupam as demais regiões do ambiente e, por consequência, empurram o objeto para a região desejada. Cada robô se move seguindo as regras da Equação 1.

$$m \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \alpha \vec{F}_1(p) + \beta \vec{F}_2 - \gamma \vec{v}_i \quad (1)$$

Os valores m , v_i são respectivamente, a massa e velocidade do i -ésimo robô. $\vec{F}_1(p)$ é o vetor unitário e sua orientação muda aleatoriamente no raio de $(-\pi, \pi)$ de acordo com a probabilidade p . \vec{F}_2 é o vetor unitário de repulsão ao destino. Ele é calculado pela Equação 2.

$$\vec{F}_2 = \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_d}{\|\vec{r}_i - \vec{r}_d\|} \quad (2)$$

Os valores \vec{r}_i e \vec{r}_d são as posições do i -ésimo robô e do destino respectivamente. Para simplificar, é simulado a fricção pelo termo γ (força de resistividade).

Para aplicar a metodologia de Campos Potenciais foi utilizado o tratamento vetorial abordado por Khatib no apêndice I.

Considerando uma aresta l de vértices $m_1(x_1, y_1)$ e $m_2(x_2, y_2)$, um ponto $m(x, y)$ da aresta é descrito pelas equações paramétricas:

$$\begin{aligned} x &= x_1 + \lambda(x_2 - x_1) \\ y &= y_1 + \lambda(y_2 - y_1) \end{aligned} \quad (3)$$

O ponto m da linha mais próximo ao vértice v é dado pela Equação 4. O valor de m é igual a m_1 se $\lambda \leq 0$ e é igual a m_2 se $\lambda \geq 1$; caso contrário, é dado pela Equação 3. A menor distância é dada pela Equação 5.

$$\lambda = \frac{(vm_1) \cdot (vm_2)}{l^2} \quad (4)$$

$$\rho = \begin{cases} [\rho_1^2 - \lambda^2 l^2]^{\frac{1}{2}}, & \text{if } 0 \leq \lambda \leq 1, \\ \rho_1, & \text{if } \lambda < 0, \\ \rho_2, & \text{if } \lambda > 1, \end{cases} \quad (5)$$

Para calcular as forças de repulsão com as paredes do labirinto, foi utilizada uma força de repulsão dos quatro lados de cada parede do labirinto, em que cada parede é representada por um retângulo, com um raio de ação pré-determinado. Assim, cada parede é um retângulo e cada robô checa se está no raio de ação deste retângulo, utilizando a menor distância da aresta mais próxima ao robô pelas equações vetoriais acima para poder calcular a força de repulsão com este ponto. O Algoritmo 1 demonstra o funcionamento do método.

Algoritmo 1 : Cálculo das forças de repulsão do labirinto

Entrada : Número de robôs m , posição dos robôs $\text{pos}(x,y)$ alcance máximo dos robôs R , vetor de paredes que compõem o labirinto $\text{ret } 1...n$

```

1: para  $i=1...m$  faça
2:     para  $j=1...n$  faça
3:         se  $\text{pos } i(x,y)$  está dentro do raio  $R$  do  $\text{ret } j$  faça
4:             Cálculo da menor distância entre o robô e a parede pela equação 5
4:             Cálculo da força de repulsão  $F = k/\rho^2$ 
5:         fim para
9: fim para
10: retorna ConjuntoDeForças  $F_i^*j, i=1...m, j=1...s$ 
```

O método *SLACS* é feito colhendo as amostras de distância por meio do Algoritmo 2. Depois o robô identifica seus vizinhos mais próximos dentro do raio de comunicação e obter suas amostras. Amostras que estão mais próximas do vizinho do robô são descartadas e as remanescentes são utilizadas para obter a posição do Centróide CTr (Equação 6) para onde o agente deverá se mover. Se não houver vizinho disponível, o robô utiliza somente suas amostras. Na geração de amostras, também é considerada a presença de obstáculos, amostras não são geradas pra além da medida de distância.

Algoritmo 2: Processo de geração de amostras do *SLACS*

Entrada : Número de feixes de um sensor acoplado em um robô m , alcance máximo dos feixes RD , número máximo de amostras que podem ser geradas em uma direção s , medidas de distância dos feixes $sri \ i=1...m$, ângulo relativo de dispersão do feixe em relação à frente do robô $ai \ i=1...m$.

```

1: for  $i=1...m$  faça
2:      $j = 1$ ;
3:     Intervalo =  $RD/s$ ;
4:     enquanto Intervalo !=  $sri$  faça
5:          $Si^*j = [\cos(ai)*Intervalo, \sin(ai)*Intervalo]$ ;
6:         Intervalo := Intervalo +  $RD/s$ ;
7:          $j = j + 1$ ;
8:     fim enquanto
9: fim para
10: retorna ConjuntoDeAmostras  $Si^*j, i=1...m, j=1...s$ 
```

$$CTr = \frac{\sum_{i=1}^s Si}{s} \quad (6)$$

4 Testes e discussão

Foram realizadas as seguintes atividades no período de Abril à Setembro de 2017, visando atingir os objetivos propostos:

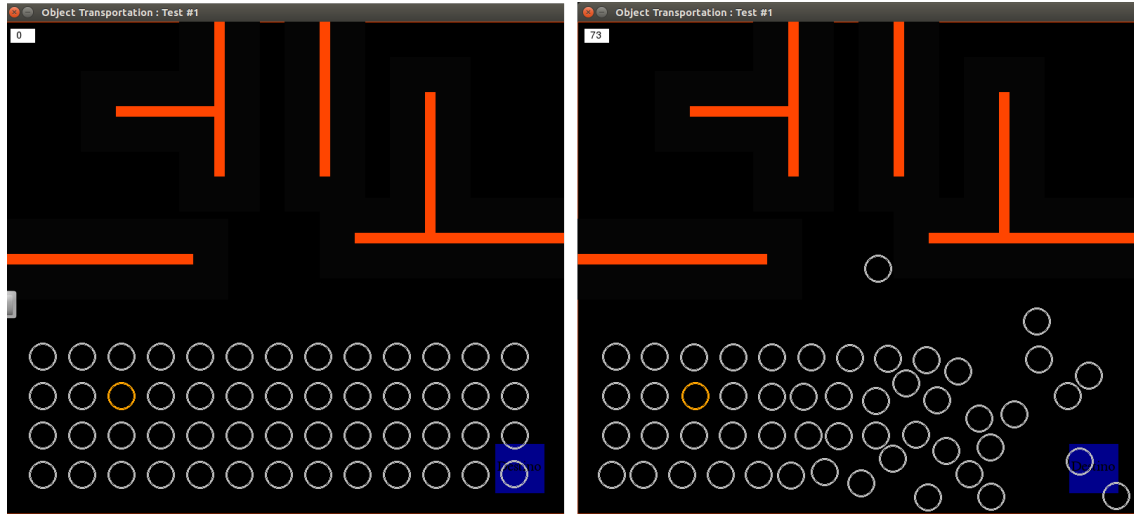
4.1 Implementação das estratégias de deslocamento dos robôs

Foi implementado a parte física de repulsão e colisão com os objetos e paredes. Houve dificuldades para implementação por se tratar repulsão a objetos retangulares e não a pontos. Para fazer o tratamento da repulsão com as paredes do labirinto foi considerado a repulsão ao lado mais próximo de cada parede, pelo tratamento vetorial feito por Khatib [5] foi calculado a menor distância do robô a aresta mais próxima do retângulo e a partir daí calcular a força ponto a ponto. Desta forma foi aplicado a teoria de Campos Potenciais.

4.2 Realização de experimentos das técnicas de deslocamento

Para verificar se as estratégias desenvolvidas de fato realizam a tarefa de deslocamento e percorrimto de área dada e medir o desempenho, devem realizados diversos testes entre as estratégias, a estratégia de Campos Potenciais, sem a aplicação da tarefa de transporte de objetos, a estratégia de *SLACS* e a estratégia de Comportamento de Proximidade de grupo, para conseguir se deslocar rapidamente e evitar ficar preso em cantos.

Até o momento, foi implementada a estratégia de campos potenciais com convecção granular, aplicando nos robôs forças repulsivas a partir dos obstáculos e da posição destino, resultado foi observado na Figura 2. Também foi implementada o método de percorrimto de área *SLACS*



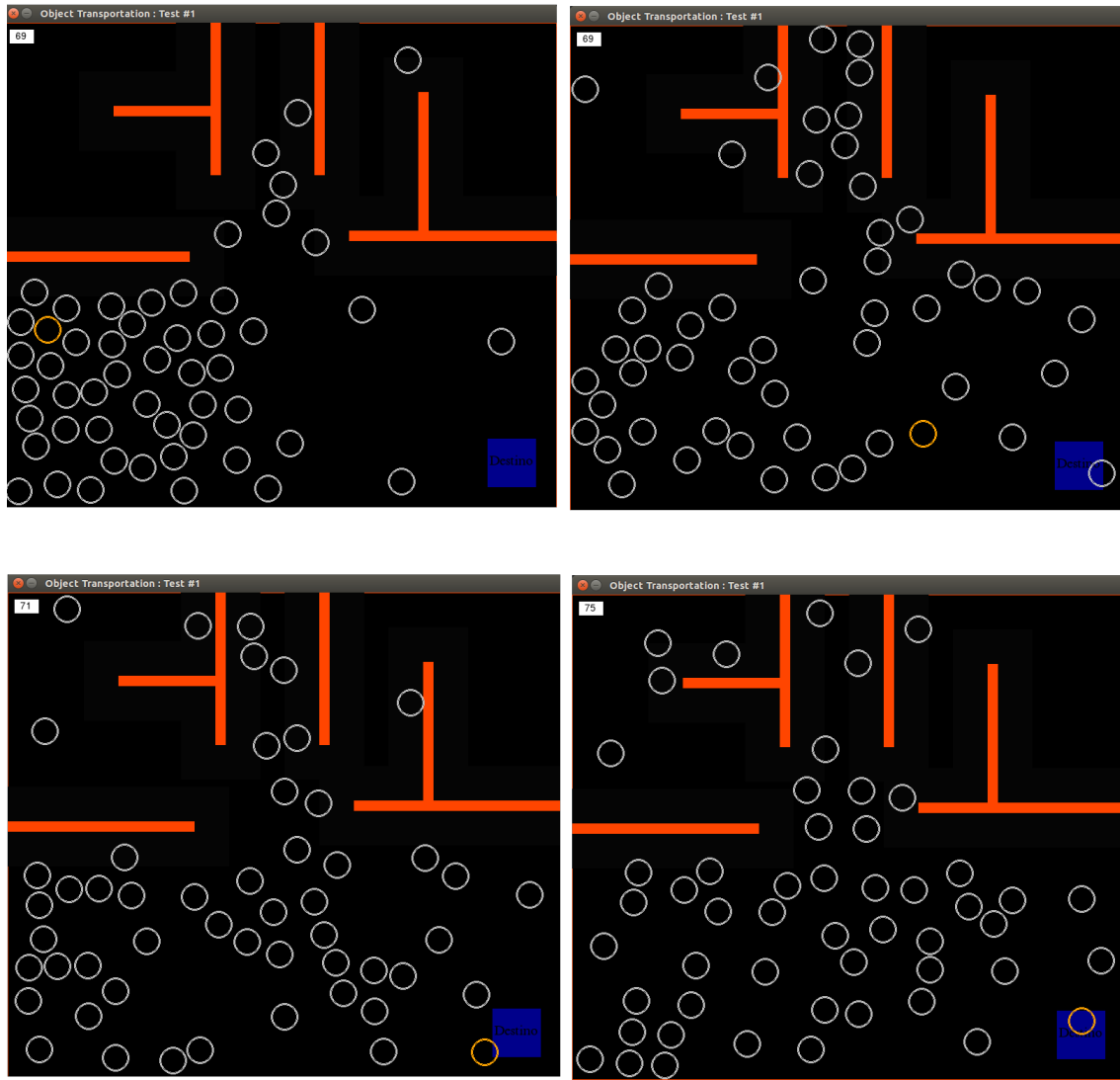


Figura 2: Simulação da convecção granular: a bolinha laranja é o objeto que se deseja transportar.

A simulação foi feita com 51 robôs e um objeto de mesmo diâmetro, considerando a distribuição inicial mostrada da Figura 2. Fazendo dez testes nesta configuração, o tempo médio de transporte do objeto foi de 236 segundos com 7589 colisões entre robôs e 1400 colisões com as paredes. O alto tempo do transporte deve-se ao fato da convecção granular ser um método de transporte indireto e a distribuição dos robôs não ser favorável a condução do objeto, pois há mais robôs a direita do objeto que tenderam a empurrá-lo para esquerda para se afastarem do destino. Também deve ser considerado a influência das constantes de das forças e do raio de visão dos robôs. Quanto maior a repulsão ao destino mais rápido os robôs se afastarão do destino, quanto maior o raio de visão do robô ele tenderá a ficar mais distantes de outros robôs e obstáculos, outro fato interessante é que quanto maior a força aleatória da convecção granular mais rápido é realizado o transporte. O número e tamanho dos agentes também é outro fator que afeta o desempenho, quanto maior o número de robôs mais efetivo é a convecção granular. O número de colisões que depende dos dois fatores citados anteriormente tem consequência direta no transporte uma vez que cada colisão causa o robô se locomover na direção oposta a anterior, atrapalhando a sua locomoção. Com a adição do método SLACS tivemos um espalhamento mais rápido, resultando em menor tempo médio de transporte: 78 segundos, com 2848 colisões entre robôs e 490 colisões com as paredes.

5 Conclusão

A partir dos testes realizados foi observado o funcionamento das forças de repulsão de campos potenciais e a convecção granular, com isso, o objeto foi se deslocando ao destino enquanto os outros agentes se espalharam pelo campo. Também foi observado o funcionamento do método de cobertura de área *SLACS* e sua influência na convecção granular.

Seria ideal testar posicionamentos diferentes do objeto (mais próximo do destino, mais longe do destino e em posição aleatória) e dos robôs para verificar o desempenho em todos os casos. Assim como fazer o ajuste das constantes das forças e dos raios de atuação para otimização da tarefa e implementar métodos de guardar o caminho do objeto até ser completa a tarefa. Ainda não foi possível implementar o método de navegação em grupo coerente com multiagentes recíprocos e comportamento de proximidade. Tais testes e implementações ficarão pra trabalhos futuros.

O aluno também adquiriu conhecimentos sobre a linguagem de programação *python* e a biblioteca *PyGame* para a execução do projeto. Assim como compreendeu o funcionamento dos métodos de implementação das estratégias estudadas.

A realização desta pesquisa também possibilitou a reflexão sobre o estado da arte em robótica de enxames e sobre as possibilidades de união de diferentes métodos de deslocamento para obtenção de melhores resultados.

Por fim, é importante agradecer a FAPESP pelo suporte dado para a realização da pesquisa a qual desenvolveu e motivou o aluno.

Referências

- [1] Erol Şahin. Swarm robotics: From sources of inspiration to domains of application. In *Swarm robotics*, pages 10–20. Springer, 2004.
- [2] Ken Sugawara, Nikolaus Correll, and Dustin Reishus. Object transportation by granular convection using swarm robots. In *Distributed autonomous robotic systems*, pages 135–147. Springer, 2014.
- [3] Will McGugan. *Beginning game development with Python and Pygame: from novice to professional*. Apress, 2007.
- [4] Aaron Becker, Chris Ertel, and James McLurkin. Crowdsourcing swarm manipulation experiments: A massive online user study with large swarms of simple robots. In *Robotics and Automation (ICRA), International Conference on*. IEEE, 2014.
- [5] Oussama Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *The international journal of robotics research*, 1986.

São Carlos, 19 de setembro de 2017.