

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

Bruna Yukari Fujii Yoshida

Orientadora : Profa. Dra. Roseli Aparecida Francelin Romero

Dezembro de 2016

Resumo

Enxame de robôs são sistemas multirrobóticos inspirados em comportamentos de determinados grupos de animais. A robótica de enxame visa a criação de comportamentos coletivos flexíveis, robustos e descentralizados para a coordenação de grandes quantidades de robôs. Este projeto 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, o aluno estudará estratégias de movimentação baseadas na técnica de Campos Potenciais, Diagrama Centroidal de Voronoi, e métodos de transporte de objetos. A implementação será feita em Python, na interface da biblioteca Pygame.

1 Introdução

Um grande conjunto de robôs 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 multi-robóticos 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.

A proposta deste projeto é estudar e analisar o desempenho de enxames de robôs para a tarefa de transporte de objetos, em que cada robô pode empurrar este 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; manipulação por micro-piças e cercando um objeto com um enxame de agentes. Nesta proposta, será 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 Revisão Bibliográfica

Alguns comportamentos de sistemas multi-robóticos têm como origem o estudo de fenômenos físicos. Sugawara et al. [2] propuseram o deslocamento de objetos por um enxame através de convecção granular, um fenômeno usualmente observado em caixas de granola em que os itens grandes tendem a se acumular no topo quando a caixa é chacoalhada. É um fenômeno interessante pois os objetos aparentemente desafiam a gravidade quando se deslocam para o topo da caixa ao invés de afundar para a base. No artigo, esse deslocamento é feito 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. Na Figura 1, os círculos azul, verde e vermelho representam, respectivamente, o destino, os agentes e o objeto a ser transportado.

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).

Batista et al. [3] propuseram um método de cobertura de área inspirado em Diagramas Centroidais de Voronoi denominado SLACS (*Sample Lloyd based Area Coverage System*). Através de comunicação e sensoriamento locais, os robôs podem cobrir uma região desconhecida, evitando colisões e procurando manter distâncias entre si. Este método gera amostras para estimar o centroide dos polígonos dos Diagramas de Voronoi deterministicamente de acordo com os sensores de proximidade dos robôs. A flexibilidade dada ao sistema multirrobótico, juntamente com a facilidade de manejo de obstáculos, o torna um método simples de ser aplicado. A Figura 2 mostra um grupo de agentes representado juntamente com sua relação com os DCVs (Diagramas Centrais de Voronoi).

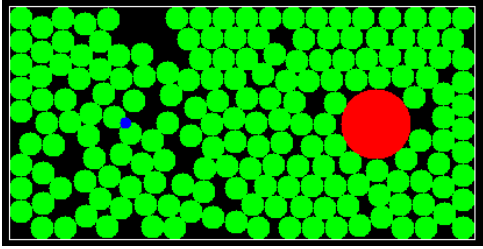


Figura 1: Convecção Granular (Sugawara et al, 2014)

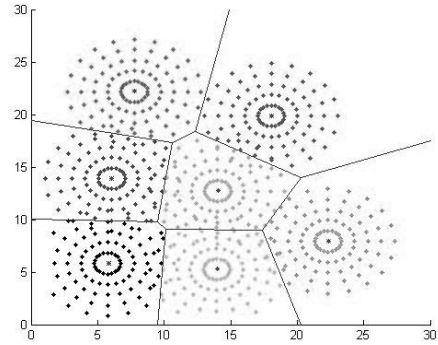


Figura 2: SLACS (Batista et al., 2013).

A identificação de vizinhos do *SLACS* é feita pela medição da distância a cada robô, colhendo as amostras por meio do Algoritmo 1. Depois o robô deverá identificar 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 3) 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 1 : 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 s_{ri} $i=1...m$, ângulo relativo de dispersão do feixe em relação à frente do robô α_i $i=1...m$.

```

1: for  $i=1...m$  faça
2:    $j = 1$ ;
3:   Intervalo =  $RD/s$ ;
4:   enquanto Intervalo  $\neq s_{ri}$  faça
5:      $S_{i*j} = [\cos(\alpha_i)*Intervalo, \sin(\alpha_i)*Intervalo]$ ;
6:     Intervalo := Intervalo +  $RD/s$ ;
7:      $j = j + 1$ ;
8:   fim enquanto
9: fim para
10: retorna ConjuntoDeAmostras  $S_{i*j}$ ,  $i=1...m$ ,  $j=1...s$ 

```

$$CTr = \frac{\sum_{i=1}^s S_i}{s} \quad (3)$$

Um método amplamente difundido para navegação de robôs é o de Campos Potenciais Artificiais, inicialmente proposto por Khatib et al.[4]. Essa técnica de decisão de caminho faz o robô se mover sobre a influência de um potencial artificial gerado pelo destino e obstáculos. O destino gera um potencial baixo, que atrai o robô, e os obstáculos geram um potencial alto, que repelirá os robôs. O gradiente do potencial dos obstáculos gerará uma força repulsiva aos obstáculos, como paredes e outros robôs, evitando colisões; o gradiente do potencial do destino gerará uma força atrativa que guiará o robô ao destino. Na Figura 3 é apresentada uma série de diagramas que ilustra a utilização de campos potenciais. Na Figura 3a, temos uma configuração espacial simples bidimensional com dois obstáculos poligonais e uma origem e gol; na Figura 3b, temos o potencial atrativo gerado pelo gol enquanto na Figura 3c temos o potencial repulsivo gerado pelos obstáculos; a Figura 3d mostra a soma desses dois potenciais. Na Figura 3e temos as linhas equipotenciais e o caminho gerado para o robô. A Figura 3f mostra a orientação do gradiente do campo potencial no espaço.

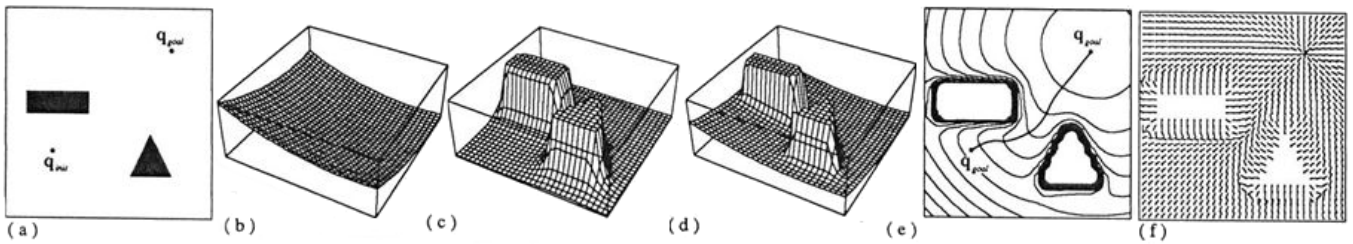


Figura 3: Campos Potenciais, adaptada do trabalho de Latombe et al [5].

A força repulsiva Fr exercida em cada ponto por cada obstáculo do ambiente e pelos outros agentes é calculada pela Equação 4.

$$\|Fr\| = \frac{Q}{d^2} \quad , \quad \angle Fr = \arctan\left(\frac{-\Delta y}{\Delta x}\right) \quad (4)$$

onde Q é uma constante escalar de repulsão, d é a distância entre o ponto e o obstáculo, e Δx e Δy são as distâncias no eixo x e no eixo y , respectivamente.

A força atrativa Fa exercida pelo destino é calculada pela Equação 5.

$$\|Fa\| = C \quad , \quad \angle Fa = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) \quad (5)$$

onde C é uma constante escalar de atração e Δx e Δy são as distâncias no eixo x e no eixo y do ponto em relação à meta.

Um tópico importante que é abordado no projeto é o de comportamento de proximidade; He et al[6] desenvolveu um algoritmo de navegação descentralizada que simula o comportamento de proximidade em grupo. Este método é útil para se deslocar suavemente e desviar de obstáculos. Na Figura 4 temos a comparação entre evasão recíproca com e sem comportamento de proximidade. Pode-se observar que, na multidão que segue o comportamento de proximidade, os grupos no tempo anterior t_0 serão praticamente mantidos, sendo que cada agente irá se mover de forma independente.

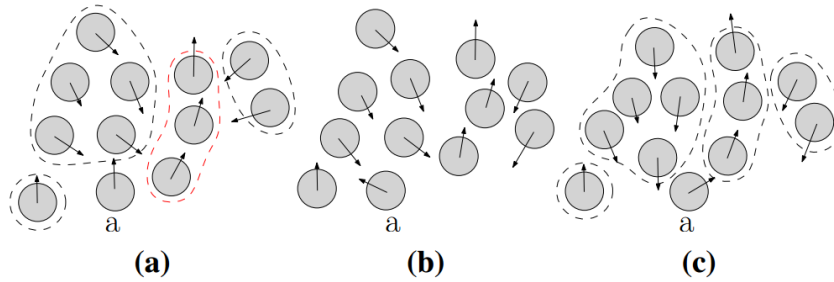


Figura 4: Comparação entre evasão recíproca de colisão com e sem Comportamento de Proximidade. (a) é a multidão em t_0 , e (b), (c) são respectivamente a multidão em t_1 com e sem Comportamento de Proximidade. Adaptado de He et al.[6]

Para gerar comportamento de proximidade de grupos de maneira descentralizada, cada agente inicialmente agrupa seus vizinhos em um conjunto de grupos G_a^j . Mais precisamente, o agente a primeiro observa seus vizinhos em termos de posição e velocidade dentro de um certo raio, e então agrupa os agentes vizinhos com posições e velocidades similares em diferentes grupos G_a^j . É associada uma velocidade de grupo $V_{G_a^j}$ para cada grupo, e velocidade do grupo é igual a

média da velocidade instantânea de todos os agentes daquele grupo. O agente a irá selecionar o grupo no qual a direção de deslocamento é mais similar com sua velocidade atual para fazer parte. Este grupo é chamado de grupo de proximidade e denotado como G_a^* . Seus elementos são chamados de agentes de proximidade em respeito a a . Os grupos restantes são considerados grupos de obstáculos e seus membros são agentes de obstáculo.

O algoritmo é feito em vários passos. Primeiro, agrupa-se os vizinhos de a em um grupo de proximidade G_a^* e vários grupos de obstáculos. O agente então escolhe uma política de alto nível de abstração(esquerda ou direita) para contornar os grupos de obstáculos de maneira que se todos os agentes de proximidade usarem consistentemente a mesma política, eles se moverão com unicidade. Em seguida, o agente a decide se irá seguir um agente de proximidade dentro do grupo de proximidade G_a^* para fazer progresso em direção ao destino (se há um agente que está mais próximo do destino a irá segui-lo caso contrário será um líder). Finalmente, a velocidade real que satisfaz todas as restrições é calculada . O modelo do algoritmo está na Figura 5.



Figura 5: Modelo do Algoritmo de Comportamento de Proximidade de Grupos, adaptado do trabalho de He et al

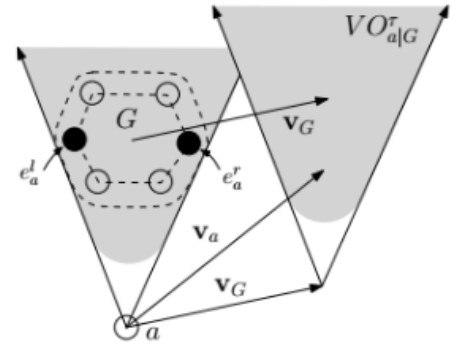


Figura 6: Cálculo da Velocidade de Colisão $VO_{a|G} \cdot D(0, r_a)$ é o disco centrado na origem com raio r_a ; $CH(G)$ (Convex Hull) é o formato do grupo G ; P_a é a posição de a . Os agentes pretos e_a^l e e_a^r são os agentes mais extremos do grupo G . Adaptado de He et al.

No agrupamento baseado em agentes, o agente a irá se juntar ao grupo G que tem a velocidade V_G mais similar a sua velocidade atual, ou seja, irá pegar o máximo valor do produto escalar da velocidade atual de a com a velocidade do grupo. Tal grupo será o grupo proxêmico de a , enquanto os outros serão grupos de obstáculos.

$$G_a^* = \underset{(G_a^i, V_a \cdot V_{G_a^i} \geq 0)}{\operatorname{argmax}} V_a \cdot V_{G_a^i} \quad (6)$$

Para determinar o melhor lado de contorno dos grupos de obstáculos é utilizado a veloci-

dade $VO_{a|G}$ do obstáculo para a induzida pelo grupo G , que é definida como o conjunto de velocidades V_a de a que resultarão em uma colisão com G em algum ponto dentro da janela temporal τ , assumindo que o grupo G mantenha sua velocidade V_G :

$$VO_{a|G} = \{V | \exists t \in [0, \tau] \text{ tal que } P_a + (V - V_G)t \in CH(G) \oplus D(0, r_a)\} \quad (7)$$

O lado s que o agente a deveria escolher é calculado à partir do produto escalar da normal n do plano 2D e o produto vetorial entre v' e p' . Em que v' e p' são respectivamente a velocidade e posição relativa entre a e G :

$$s = \begin{cases} direita, & \text{se } (v' \times p') \cdot n < 0 \\ esquerda, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (8)$$

Tendo completado o processo de evasão de proximidade inter-grupal, é necessário fazer as regras intra-grupais para manter a coesão do grupo. Tais regras farão cada agente dinamicamente seguir outro quando possível. Sendo $g_a = e_a^s$ a posição do destino de um agente $a \in G$, deve-se checar se existe um membro $b \in G$ tal que $\|p_b - g_a\| < \|p_a - g_a\|$ e se eles estão conectados (podem mover na direção um do outro em uma reta sem colidir com nenhum agente fora do grupo G). Se existe, o agente a será um seguidor de b ; senão, será um líder. Se o agente a for um seguidor, para escolher o alvo que deverá seguir separa-se todos os agentes b que satisfaçam a condição, esses agentes constituirão o grupo F . Então é escolhido dentro do grupo F o agente mais próximo de a e a recebe uma nova velocidade v_a^{adapt} na direção de $p_b - p_a$. Então deve-se pegar sua nova velocidade e evitar as possíveis colisões com agentes próximos.

3 Objetivos

Neste projeto, 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, 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.

4 Metodologia

O projeto será simulado na biblioteca multimídia para *python PyGame* [7], utilizando uma interface gráfica amigável ao usuário com controle por mouse e setas do teclado. A interface será inspirada na aplicação de Becker et al.[8], 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.

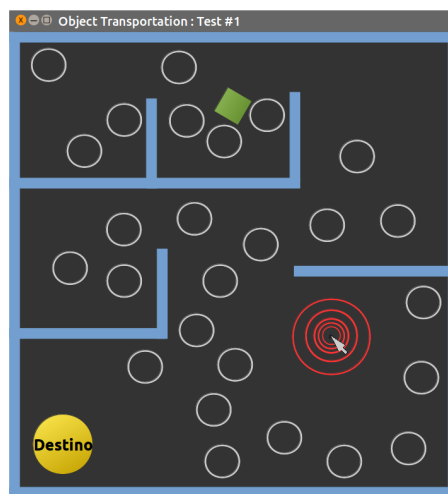


Figura 7: Modelo de aplicação do Projeto

Simulando um enxame de robôs descentralizado atuando em um ambiente virtual, os robôs autonomamente realizaram a tarefa designada. Cada um destes robôs terá 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 pra 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.

5 Atividades e Cronograma

Serão realizadas as seguintes atividades no período de 1 ano, com separação bimestral, visando atingir os objetivos propostos:

5.1 Revisão bibliográfica

O aluno dedicará um período para encontrar artigos sobre Sistemas multi-robóticos de cobertura de área, Teoria dos Campos Potenciais, Comportamentos de Proximidade de Grupos e outros sistemas de transporte de partículas.

5.2 Implementação das estratégias de deslocamento dos robôs

5.3 Implementação das técnicas de deslocamento de objetos

5.4 Realização de experimentos das técnicas de deslocamento

Para verificar se as estratégias desenvolvidas de fato realizam a tarefa de deslocamento e percorrimento de área dada e medir o desempenho, serão 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.

5.5 Análise dos resultados obtidos

Serão analisados o desempenho dos diferentes métodos e suas combinações, de forma a determinar qual foi a estratégia que obteve resultados superiores.

5.6 Escrita de relatório

5.7 Escrita de artigos para conferências e simpósios

Atividades	2017			2017		
	1º Bim.	2º Bim.	3º Bim.	4º Bim.	5º Bim.	6º Bim.
5.1	X					
5.2	X	X				
5.3			X	X		
5.4				X		
5.5			X			
5.6			X		X	
5.7						X

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] Murillo Rehder Batista, Rodrigo Calvo, and Roseli Ap Francelin Romero. A robot on-line area coverage approach based on the probabilistic lloyd method. In *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. IEEE, 2013.
- [4] Oussama Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *The international journal of robotics research*, 1986.
- [5] Jean-Claude Latombe. *Robot motion planning*, volume 124. Springer Science & Business Media, 2012.
- [6] Liang He, Jia Pan, Wenping Wang, and Dinesh Manocha. Proxemic group behaviors using reciprocal multi-agent navigation. In *International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2016.
- [7] Will McGugan. *Beginning game development with Python and Pygame: from novice to professional*. Apress, 2007.
- [8] 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.