

Estudo e Desenvolvimento de Sistemas de Planejamento de Caminhos para Robôs Móveis.

Ranulfo Plutarco Bezerra Neto (Bolsista ICV/UFPI), André Macedo Santana (Orientador, DIE/CCN/UFPI)

Introdução

O processo de navegação de robôs é comumente dividido em sub-problemas que podem ser abstraídos em cinco níveis hierarquizados de autonomia: Mapeamento do Ambiente, Localização, Planejamento de Caminho, Geração de Trajetória e Execução de Trajetória; quando as duas primeiras etapas do processo de navegação devem ser realizadas de forma simultânea geram o problema de SLAM. O estudo de técnicas associadas à solução do problema de planejamento de caminhos é o objetivo deste trabalho.

No nível de Planejamento de Caminhos o robô calcula a curva geométrica que o leva de sua localização inicial a sua localização final, desviando dos obstáculos, quando existirem. Percebe-se, pela própria definição do problema, que se faz necessário o conhecimento da representação do ambiente ao qual o robô está inserido. Dentre as diversas técnicas utilizadas para representar o ambiente foram estudadas o Grafo de Visibilidade (GV), o Grafo de Visibilidade Reduzido (GVR), a Decomposição em Células Exatas (DCE) e a Decomposição em Células Aproximadas (DCA).

Na representação em GV o ambiente é representado por um grafo cujos nós são as extremidades do ambiente, o ponto inicial do robô, o ponto final desejado e os vértices dos obstáculos. O objetivo principal da representação GVR, como o próprio nome sugere, é diminuir o espaço de busca da representação GV, ou seja, minimizar a quantidade de arestas criadas entre os nós. O GVR limita o número de caminhos, partindo do princípio que para se estabelecer o caminho mais curto, este só será encontrado se o vértice X possuir uma vizinhança U tal que a intercessão do obstáculo para com a vizinhança U esteja contido no caminho poligonal T de duas semirretas originadas em X e que contém os segmentos de T adjacentes a X (OTTONI, G. M. 2000).

A ideia de representar o ambiente em DCE consiste em dividir a área de trabalho do robô em diversas células criando segmentos de retas para as células adjacentes (LAVALLE, S. M. 2006). O objetivo é gerar um possível caminho considerando um espaçamento maior entre o caminho planejado para o robô e os obstáculos do mapa. Já na representação DCA o objetivo é mapear o plano de movimento do robô em uma matriz. Nesta representação qualquer célula contida no interior de um obstáculo é considerada uma região com impossibilidade de locomoção do robô.

Este trabalho apresenta análises das implementações do GV, GVR, DCE e DCA tendo em vista a complexidade dos algoritmos e o tempo de execução. Além disso, também serão apresentadas características com caminhos planejados usando tais representações.

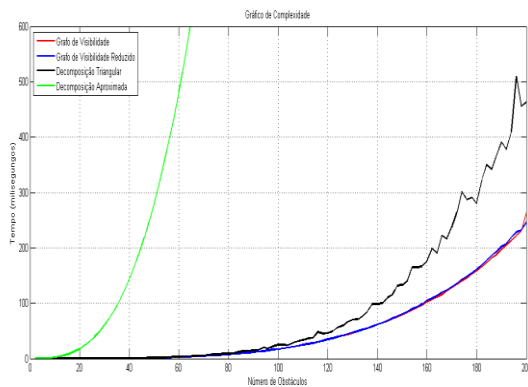
Metodologia

Este trabalho foi dividido em seis etapas. Na primeira etapa, foi feito um estudo/pesquisa sobre o problema de planejamento de caminhos para robôs móveis com o intuito de verificar os principais conceitos relacionados ao tema. Na segunda etapa, foi realizado um estudo/pesquisa das principais técnicas utilizadas nos problemas de planejamento de caminhos.

Da gama de técnicas normalmente utilizadas optou-se por estudar o Grafo de Visibilidade (GV), o Grafo de Visibilidade Reduzido (GVR), a Decomposição em Células Exatas (DCE), a Decomposição em Células Aproximadas (DCA) além do algoritmo A*. Na terceira etapa, iniciou-se o processo de implementação dos sistemas de representação do ambiente. Na quarta etapa, foi implementado o algoritmo A* para calcular o caminho usando as representações já citadas. Na quinta etapa, foram realizados alguns experimentos e, por fim, na sexta etapa foi elaborado o relatório final contemplando o detalhamento das experimentações, os resultados, as discussões e as perspectivas.

Resultados e Discussões

Inicialmente foram implementados os algoritmos de representação do ambiente GV, GVR, DCE e DCA. Para testar a eficiência dos mesmos, no tocante ao tempo de execução, fez-se o seguinte experimento: gerou-se vários mapas com quantidade de obstáculos distintas e mediu-se o tempo de execução dos algoritmos para construção completa do mapa. A Figura 1 apresenta o resultado.



Analisando os resultados percebeu-se que o algoritmo de DCA ($O(n^4)$) possui o maior custo computacional seguido pelo algoritmo DCE ($O(n^2 \log n)$). Percebeu-se, também, que os algoritmos GV e GVR ($n \log n$), possuem tempo de execução semelhante. Tendo em vista o planejamento de caminhos, os resultados gráficos dos caminhos planejados para as representações supracitadas são exibidos na Figura 2. Analisando a Figura 2 (a) e (b), percebe-se que o caminho planejado utilizando as representações GV e GVR foi o mesmo diferindo-se dos caminhos planejados para as representações DCE e DCA. Percebe-se, ainda, que para a representação em DCE preserva-se a propriedade de planejar um caminho afastando-se dos obstáculos sempre que possível.

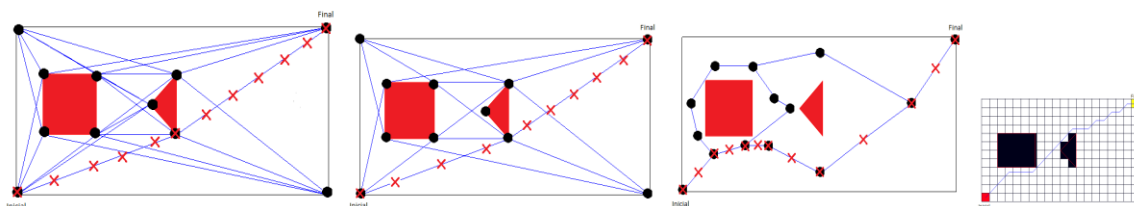
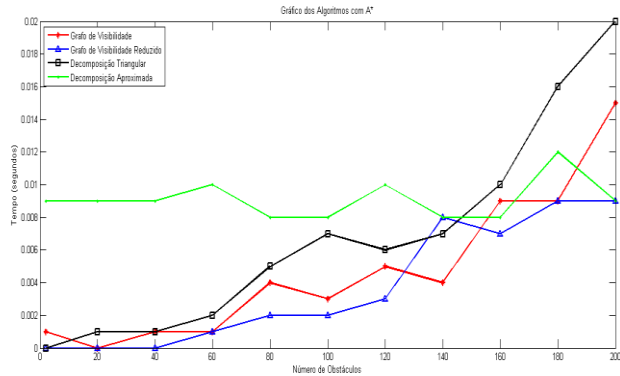


Figura 2: Resultado do planejamento de caminho: a)mapaGV, b)mapaGVR, c)mapaDT e d)mapaDA

Outra análise que foi realizada consistiu em comparar as distâncias percorridas entre os pontos inicial e final de cada uma das representações. Os resultados foram respectivamente, 6,52m; 6,52m; 7,20m; 7,05m; para GV, GVR, DT e DA e, como era de se esperar, os métodos que permitem computar o caminho sem levar em consideração a proximidade com os obstáculos apresentaram a distância total percorrida menor que as outras representações.

Por fim, para verificar a eficiência do algoritmo A*, foi realizado um experimento semelhante ao utilizado para analisar a eficiência dos algoritmos de representação do ambiente. Ou seja, variou-se a quantidade de obstáculos e mediu-se o tempo de execução do algoritmo (Figura 3).

Como pode ser visto no gráfico a aplicação do A* para as representações GV, GVR e DCE é sensível à quantidade de obstáculos do ambiente enquanto que para a representação em DCA este tempo de execução pouco oscila. A explicação para este fato deve-se ao fato das representações GV, GVR e DCE aumentarem muito a possibilidade



caminhos com o aumento do número de obstáculos implicando, assim, em um maior espaço de busca para o algoritmo A*. Já para a DCA isto é invariante pois o número de possibilidade é associado ao tamanho das células do mapa e não à quantidade de obstáculos.

Conclusões e Perspectivas

Neste relatório foram apresentados quatro algoritmos clássicos para representação do ambiente. Análises de complexidade dos algoritmos foram realizadas e foram validadas com o tempo de execução dos mesmos. Percebeu-se que, de maneira geral, os algoritmos funcionam bem, porém com o aumento do número de obstáculos do ambiente o custo computacional associado pode inviabilizar a utilização destas técnicas em sistemas robóticos autônomos. Além disso, percebeu-se que a escolha da estratégia de planejamento é fortemente associada à aplicação. Para aplicações que necessitem de movimentos menores as representações GV e GVR são mais adequadas. Para aplicações onde seja necessário maior segurança na navegação, a DCE é a mais adequada enquanto que para aplicações onde o requisito seja um tempo de planejamento rápido, a técnica de DCA torna-se mais viável. Como trabalhos futuros pretende-se, além de refinar as soluções já implementadas, estudar outras formas de representar o ambiente como o Diagrama de Voronói e a Triangularização de Delonay Além de estudar variações do algoritmo A* bem como a possibilidade de paralelização e, por fim, expandir este estudo para o espaço de sistemas multirobôs.

Referências

- ALSINA, P. J.; GONÇALVES L. M. G., DANTAS MEDEIROS A. A.;
 FERNANDES PEDROSA D. P.; VIEIRA F. C. *Navegação e controle de robôs móveis: 'Mini Curso - XIV Congresso Brasileiro de Automática'*, 2002.
 SANTANA A. M. *Localização e Planejamento de Caminhos para um Robô Humanóide e um Robô Escravo com Rodas*, 2007.
 LATOMBE J. C. *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Press, 1991.
 OTTONI G. M. *Planejamento de Trajetórias para Robôs Móveis*, 2000.
 LAVALLE, S. M. *Planning Algorithms*, 2006.
 RUSSEL S.; NORVING P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 1995.

Palavras-chave: Robótica Móvel, Planejamento de Caminhos.