



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA UTILIZANDO BUSCA TABU E DECOMPOSIÇÃO EM CÉLULAS

Flávio Flores Villaça

Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
flaviofvillaca@gmail.com

Paulo Fernando Ferreira Rosa

Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
flaviofvillaca@gmail.com

Fernando Apolinário Pereira

Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
flaviofvillaca@gmail.com

Júlio César Silva Neves

Centro de Análise de Sistemas Navais - CASNAV
Av. Pasteur, 480 – Urca – Rio de Janeiro – RJ - Brasil
sneves@de9.ime.eb.br

Resumo

Neste trabalho descrevemos um algoritmo que utiliza a técnica de decomposição em células e a meta-heurística Busca Tabu para realizar o planejamento de trajetória de um robô em um ambiente estruturado. O problema foi modelado matematicamente como um problema de otimização em que o objetivo é minimizar a distância euclidiana entre a posição do robô e o seu destino evitando os obstáculos presentes no ambiente.

Palavras-Chaves: Busca Tabu; Planejamento de trajetória; Decomposição em Células.

Abstract

In this paper we describe an algorithm using cell decomposition and Tabu Search in path planning for a robot in a structured environment. The problem is modeled as an optimization problem where the goal function is minimize the Euclidian distance between robot position and a goal position avoiding collisions.

Keywords: Tabu Search; Path Planing; Cell Decomposition;

1. INTRODUÇÃO

A criação de robôs autônomos é uma área de pesquisa que tem recebido bastante atenção na área da robótica. Por autônomo entende-se por um robô capaz de realizar uma determinada tarefa sem a intervenção de um ser humano. Para alcançar este objetivo uma das habilidades requeridas é a locomoção em um ambiente evitando eventuais obstáculos, que podem ser cadeiras, mesas ou até mesmo pessoas, a partir de informações disponíveis sobre o ambiente. A locomoção em um ambiente pode envolver ambientes conhecidos em que o robô possui um mapa do ambiente e realiza um planejamento de trajetória baseado neste mapa, ou envolver um ambiente desconhecido onde o robô deve explorar o ambiente através dos seus sensores, que podem ser ultra-sônicos, laser ou câmeras, traçar um mapa do ambiente a partir destas informações, e localizar-se e locomover-se a partir deste mapa, o que é referenciado na literatura como SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [1].

Na robótica, os ambientes são classificados em desestruturados, semi-estruturados e estruturados. Ambientes desestruturados são ambientes totalmente desconhecidos, ambientes semi-estruturados são ambientes onde se conhece somente a localização inicial do robô e a localização do objetivo que deve ser alcançado além das dimensões do ambiente, e ambientes estruturados onde é conhecida a localização dos obstáculos, além de todas as informações anteriores.

Para algumas aplicações em que o hardware tem uma capacidade limitada devido a problemas de consumo de energia ou devido a questões de custo, é preciso algoritmos que realizem o planejamento de trajetória com um baixo custo computacional. Para atingir este objetivo a utilização de algoritmos de planejamento de trajetória que permitam a aproximação de uma trajetória ótima através de métodos heurísticos é uma alternativa viável.

Na próxima seção é realizada uma breve introdução ao método de decomposição em células. Na seção 3, uma breve descrição da meta-heurística busca tabu é apresentada. Na seção 4 o algoritmo é descrito em detalhes além de feitas algumas observações quanto a otimizações que podem ser realizadas nas trajetórias geradas. A seção 6 descreve os resultados obtidos ao final do trabalho, seguida pelas conclusões, trabalhos futuros e referências bibliográficas.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Vidal[4] descreve um sistema dinâmico de planejamento de trajetória para um dirigível, em vôos de altitude praticamente constante. Neste sistema, o objetivo é encontrar um caminho livre de obstáculos entre os pontos de partida e de chegada, de forma a minimizar o tempo gasto, pelo dirigível, para realizar tal percurso. Para tanto, foram utilizados parâmetros relacionados com a cinemática do dirigível para o cálculo da função objetivo, que retorna uma estimativa do tempo necessário para percorrer um determinado percurso. Para calcular o planejamento da trajetória, modela-se o ambiente usando o método de decomposição em células; e foi desenvolvido um algoritmo baseado na meta-heurística colônia de formigas, do qual, o resultado é melhorado através de otimizações. O sistema descrito neste artigo, funciona de forma dinâmica, ou seja, ele adapta a trajetória a ser percorrida conforme a ocorrência de obstáculos no espaço de trabalho do dirigível enquanto um determinado

No trabalho de [6] é apresentado um sistema de planejamento de trajetória para dois robôs autônomos em uma tarefa de busca de um objeto. Um dos robôs (líder) utiliza uma abordagem global (álgebra de caminhos) para o seu planejamento de trajetória em ambientes conhecidos. O robô seguidor utiliza uma abordagem local (álgebra de caminhos) para a solução de mínimos locais. O sistema é composto por dois robôs móveis em uma configuração líder-seguidor. Um dos robôs utiliza uma abordagem global (álgebra de caminhos) e local (lógica fuzzy) para o seu planejamento de trajetória. Os pontos de partida e de chegada são conhecidos. A abordagem global do líder e auxilia na solução de mínimos locais do seguidor em relação a barreiras de obstáculos de uma barra



3. DECOMPOSIÇÃO EM CÉLULAS

O método de decomposição em células consiste em dividir o espaço livre do robô em regiões simples denominadas células, de forma que um caminho entre quaisquer duas configurações em uma mesma célula possa ser facilmente obtido. Um grafo não-dirigido representando a relação de adjacência entre as células é construído, e é então efetuada uma busca no mesmo. Este grafo é denominado grafo de conectividade. Os vértices que compõem este grafo são as células extraídas do espaço livre do robô. Há uma aresta entre dois vértices se e somente se as células correspondentes a eles são adjacentes. O resultado da busca efetuada no grafo por um caminho que interligue duas configurações é uma seqüência de células denominada canal. Um caminho contínuo pode ser computado a partir do canal.

Os métodos baseados em decomposição em células podem ser divididos ainda em exatos e aproximados. Métodos exatos de decomposição em células decompõem o espaço livre em um conjunto de células cuja união cobre exatamente o espaço livre. Métodos aproximados de decomposição em células dividem o espaço livre em um conjunto de células de forma predefinida (triângulo, retângulo ou quadrado) cuja união está estritamente contida no espaço livre.

Neste trabalho foi utilizado um método aproximado dividindo o espaço em células retangulares e de tamanhos iguais. As células são distribuídas em n linhas e n colunas formando um mapa geográfico de forma matricial denominado matriz de adjacências. Este mapa é representado matematicamente por uma matriz binária. As células que contenham alguma parte de um obstáculo qualquer é representada pelo valor 1 e as demais representadas pelo valor 0.

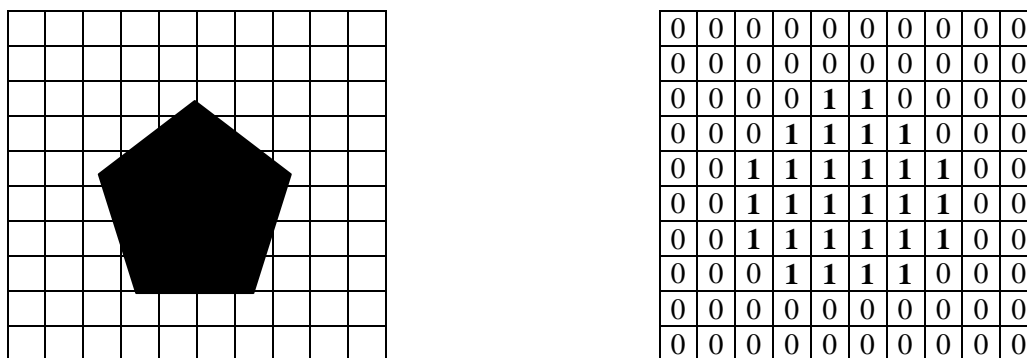


Figura 2

Verifica-se que com este método, não há custo adicional em armazenar o grafo, e o custo de testar se duas células são adjacentes é muito baixo. Este teste pode ser realizado simplesmente verificando-se as diferenças dos índices correspondentes às células na matriz de adjacências. As células adjacentes são definidas como as células onde a diferenças de índice entre estas e a célula de referência são 0 ou 1.

4. BUSCA TABU

A meta-heurística Busca Tabu tem-se mostrado ser um esquema efetivo e eficiente para otimização combinatória que combina uma estratégia de busca hill-climbing baseada em um conjunto de movimentos elementares e uma heurística para evitar mínimos locais e a ocorrência de ciclos. Esse objetivo é alcançado utilizando-se uma lista de tamanho fixo de movimentos proibidos (movimentos tabu) derivados da história recente da busca.

O estratégia hill-climbing consiste da seleção de um movimento com passo determinado a partir da posição inicial, que minimize a função objetivo. A busca termina se não é encontrado um movimento que diminua o valor da função objetivo em relação ao valor anterior.

A principal limitação da estratégia hill-climbing em um problema combinatório é que

o ótimo local alcançado no ponto de parada, quando nenhum movimento que melhore a solução é possível, pode não ser o ótimo global. A idéia básica da utilização desta meta-heurística é que os mínimos locais, onde a estratégia de busca hill-climbing estaciona, podem ser pontos de partida melhores que pontos aleatórios no espaço de busca.

5. ALGORITMO PROPOSTO

O algoritmo descrito neste trabalho tem como objetivo resolver o problema de planejamento de trajetória para os robôs do sistema descrito em [6]. Este robôs possuem um sistema de controle baseado em um microcontrolador de baixo consumo de energia e baixa capacidade de processamento.

O algoritmo busca uma aproximação do caminho ótimo entre um ponto de origem e um ponto de destino. O problema foi modelado matematicamente como um problema de otimização em que o objetivo é passo a passo minimizar a distância euclidiana entre a origem e o destino evitando os obstáculos presentes no ambiente.

São mantidas duas listas tabu: uma temporária e outra permanente. Uma célula é classificada como proibida, ou seja, um movimento para a mesma não é permitido se ela está em uma das listas ou se ela contém alguma parte de um obstáculo.

Simulando o movimento de um robô através do ambiente, temos como variável a célula atual que seria a localização do robô a cada iteração. O algoritmo define a célula atual como a célula que mapeia o ponto de origem e adiciona a mesma à trajetória. A cada iteração são verificadas quais são as células adjacentes à célula atual, excluindo-se aquelas que sejam classificadas como proibidas, e para cada uma delas é calculada a distância euclidiana até a célula de destino. A célula que apresenta a menor distância até o destino é então adicionada à trajetória. A partir da segunda iteração esta distância é comparada com a distância da iteração anterior e se está aumentou na última iteração, a célula é adicionada à lista tabu temporária. Se a distância permanecer a mesma ou diminuir a lista temporária é limpa.

Ao final de cada iteração é verificado o tamanho da lista tabu temporária. Se o limite definido tiver sido ultrapassado, somente o primeiro elemento da lista temporária é inserido na lista permanente e a lista temporária é limpa. O algoritmo é finalizado quando a célula de destino é alcançada.

Como fora observado em alguns testes, algumas configurações de mapas como a apresentada na figura 3 podem criar uma situação em que nenhum movimento a partir da célula atual é permitido. Para solucionar este problema o algoritmo foi alterado para que quando esta situação ocorra, a célula atual seja removida da trajetória e a mesma seja adicionada à lista tabu permanente.

O algoritmo sempre alcança trajetórias ótimas na ausência de obstáculos, mas na presença dos mesmos as trajetórias alcançadas contêm percursos que podem não ser ótimos. Para melhorar a trajetórias podem ser utilizados os mesmos mecanismos descritos em [3] para realizar otimizações na vizinhança e otimizações nas retas.

6. RESULTADOS

Para realização dos testes, o algoritmo foi implementado no simulador apresentado em [4]. A seguir são apresentadas duas figuras com as trajetórias geradas pelo algoritmo.

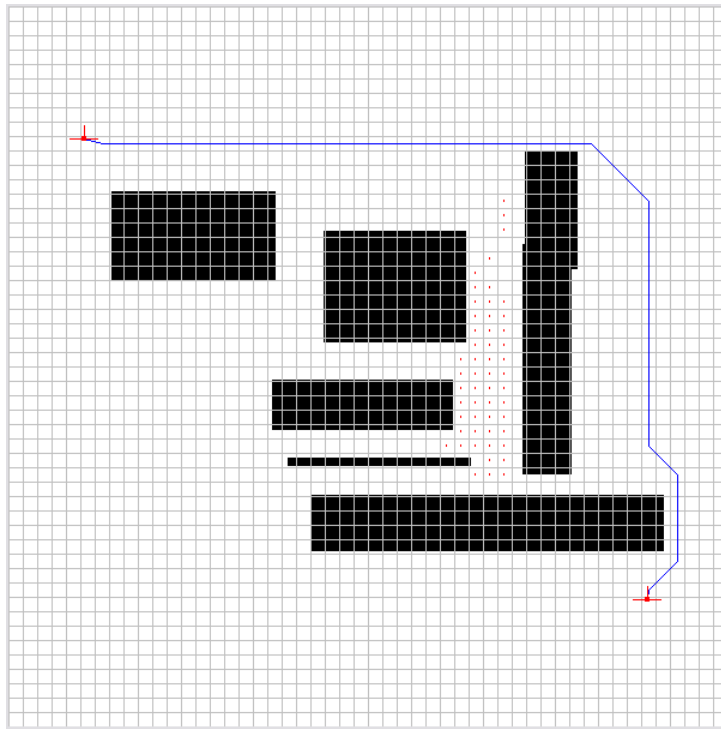


Figura 3

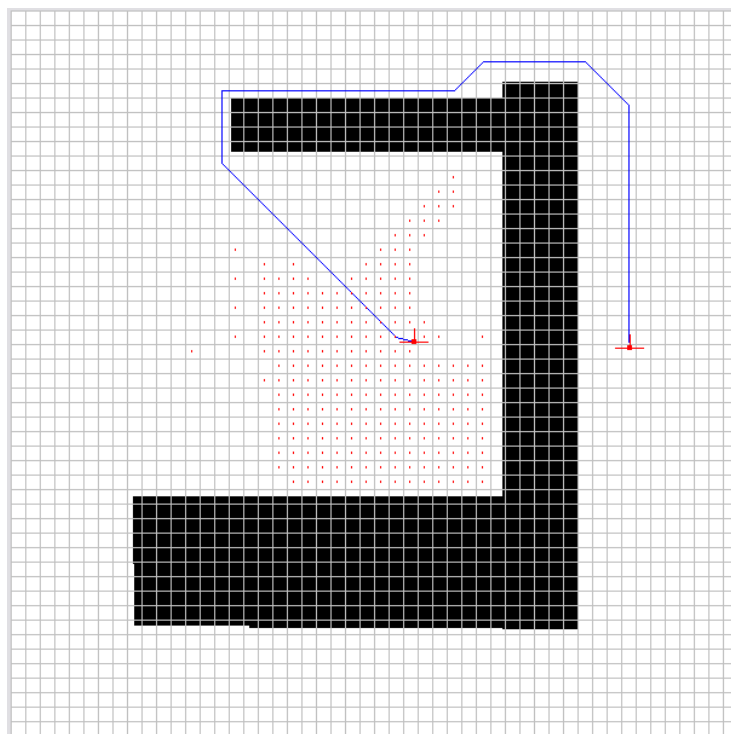


Figura 4

Nas duas figuras apresentadas, as trajetórias são apresentadas em cor azul e as células marcadas com um ponto vermelho em seu centro representam células presentes na lista tabu permanente. A figura 3 mostra células pertencentes à trajetória marcadas em vermelho. Isso se deve ao fato das otimizações na vizinhança e nas retas ignorarem as listas tabu.

Comparando-se o algoritmo apresentado em [4] e o algoritmos aqui apresentado, devido a sua natureza estocástica de busca no espaço de estados, o algoritmo baseado na

meta-heurística colônia de formigas pode apresentar soluções diferentes quando aplicado diversas vezes ao mesmo mapa, enquanto o algoritmo baseado na Busca Tabu apresenta sempre a mesma solução. Além disso, nos testes realizados, o algoritmo apresentado em [4] não apresentou solução por diversas vezes em que foi aplicado ao mapa da figura 3.

7. CONCLUSÃO

De acordo com as observações dos testes, foi concluído que o algoritmo proposto é robusto quanto à apresentação de uma solução e ao mesmo tempo apresenta um custo computacional baixo. Além disso, foram realizados testes comparativos com o algoritmo apresentado em [3]. Em algumas situações específicas o algoritmo citado não apresentou uma trajetória como resposta e, além disso, pode consumir um tempo de processamento bem maior que o algoritmo proposto.

Portanto podemos concluir que o algoritmo aqui apresentado tem utilidade prática em diversas aplicações que exigem planejamento de trajetória e apresentam recursos computacionais escassos.

8. TRABALHOS FUTUROS

O algoritmo apesar de ter dado uma resposta satisfatória, não apresentou o desempenho esperado. Isso sugere que este ainda podem ser realizadas modificações com o intuito do algoritmo atingir sempre a trajetória ótima ou muito próxima da mesma.

Um primeiro passo seria integrar a otimização de vizinhança ao código com o objetivo de diminuir o tempo de execução. Um segundo passo seria guiar a busca em torno dos obstáculos o que pode evitar buscas desnecessárias e melhorar o tempo de execução.

Uma extensão mais ambiciosa seria introduzir a capacidade de levar em consideração que a dimensão e o formato do robô sejam variáveis do problema, o que exigiria em algumas situações a verificação da viabilidade de passagem entre dois obstáculos e como realizar esta passagem. Ou seja, o algoritmo deve realizar não só o planejamento de trajetória, mas adicionalmente o planejamento das manobras que o robô deve realizar para conseguir passar entre dois obstáculos sem a ocorrência de colisões.

Um objetivo adicional seria verificar a possibilidade de utilização em aplicações envolvendo SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Latombe, J. C. Robot Motion Planning. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.
- [2] F. GLOVER, 1989. Tabu Search - part I, ORSA Journal on Computing 1(3), 190-206.
- [3] F. GLOVER, 1990. Tabu Search - part II, ORSA Journal on Computing 2(1), 4-32.
- [4] VIDAL, F. S.; NEVES, J. C. S.; ROSA, P. F. F, 2006. Planejamento de Trajetória para um Dirigível, IX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro.
- [5] Goldbarg, M. c.; Luna, H. P. L., 2005. Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos. Editora Campos, 2ª Edição.
- [6] Pereira, F. A., 2005. Múltiplos Robôs Móveis Autônomos em uma Estrutura Cooperativa. Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro.