



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO
AUTHORIZATION FOR PUBLICATION

AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS ROBÔS MÓVEIS INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAVEGAÇÃO		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY <i>Marco Antônio Raupp</i> Diretor Geral		
	AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR <i>Carlos A.M. Nogueira</i> Carlos A.M. Nogueira		DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION ☐ INTERNA / INTERNAL ☒ EXTERNA / EXTERNAL ☐ RESTRITA / RESTRICTED		
CDU/UDC 681.3.019			DATA/DATE Novembro 1988		
TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO INPE-4739-PRE/1414		ORIGEM ORIGIN LAC		
	DIVISÃO HEURÍSTICA DE UM AMBIENTE EM POLÍGONOS CONVEXOS PARA AUXÍLIO A NAVEGAÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL CARLOS A. M. NOGUEIRA VALTER RODRIGUES		PROJETO PROJECT INTAL		
Nº DE PAG. NO OF PAGES 14			ÚLTIMA PAG. LAST PAGE 10		
VERSÃO VERSION			Nº DE MAPAS NO OF MAPS		
AUTORES/AUTHORSHIP					

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Dentre as abordagens empregadas para a representação do conhecimento de ambientes estruturados necessária a um robô móvel de modo que ele seja capaz de percorrer este ambiente e evitar obstáculos, a divisão de espaços livres em polígonos convexos é uma daquelas que vem desfrutando de grande sucesso graças ao fato de transformar a busca de um caminho em uma simples busca em um grafo. Uma de suas desvantagens contudo reside na dificuldade de se automatizar um processo capaz de realizar a divisão do ambiente em polígonos convexos. Neste artigo apresenta-se um estudo do problema, onde são apresentados os conceitos geométricos necessários para dividir, usando raciocínio baseado em regras de produção, ambientes estruturados nos quais existam objetos côncavos e convexos em polígonos convexos.

OBSERVAÇÕES/REMARKS

Submetido para apresentação no 5º Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, 7 a 11 de novembro de 1988, Natal - RN.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 - INTRODUÇÃO	2
2 - CONCEITOS GEOMÉTRICOS BÁSICOS	4
3 - CONHECIMENTO NECESSÁRIO PARA A DIVISÃO DA REGIÃO EM POLÍGONOS CONVEXOS	6
4 - CASOS PATOLÓGICOS	7
5 - CONCLUSÃO	9
6 - AGRADECIMENTOS	9
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

**DIVISÃO HEURÍSTICA DE UM AMBIENTE EM POLÍGONOS
CONVEXOS PARA AUXÍLIO A NAVEGAÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL**

Carlos A. M. Nogueira
Valter Rodrigues

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Laboratório Associado de Computação e Matemática
Aplicada
LAC - INTAL
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos - SP

RESUMO

Dentre as abordagens empregadas para a representação do conhecimento de ambientes estruturados necessária a um robô móvel de modo que ele seja capaz de percorrer este ambiente e evitar obstáculos, a divisão de espaços livres em polígonos convexos é uma daquelas que vem desfrutando de grande sucesso graças ao fato de transformar a busca de um caminho em uma simples busca em um grafo. Uma de suas desvantagens contudo reside na dificuldade de se automatizar um processo capaz de realizar a divisão do ambiente em polígonos convexos. Nesse artigo apresenta-se um estudo do problema, onde são apresentados os conceitos geométrico necessários para dividir, usando raciocínio baseado em regras de produção, ambientes estruturados nos quais existam objetos côncavos e convexos em polígonos convexos.

ABSTRACT

Among the approaches used by mobile robots to represent the necessary knowledge of structured environments so that it be able to navigate and avoid obstacles, the division of empty spaces in convex polygons is one of those that is deserving more success

after the fact it transforms the search of a path in a simple search in a graph. One of its drawbacks although is the difficulty in automating a process capable of dividing the environment in convex poligons. This article presents a study of the problem and the necessary geometric concepts to divide, using rule based reasoning, structured environments in which there are concave and convex objects in convex poligons.

1 - INTRODUÇÃO

Embora a robótica já seja uma realidade hoje em dia, sua utilização encontra-se restringida em grande parte a máquinas estáticas (um braço mecânico, por exemplo, só pode mover-se em volta do seu centro de sustentação, não sendo capaz no entanto de transferir-se de uma sala para outra) e sem capacidade de tomar decisões por si só. Com o advento da utilização de técnicas de inteligência artificial espera-se poder dotar os robôs com capacidade de tomar decisões rápidas em circunstâncias emergenciais e capaz de deslocar-se no ambiente sem necessidade da existência de um teleoperador que lhe indique as ações a serem feitas.

Os sistemas autônomos de navegação podem ser utilizados efetivamente para operações remotas em ambientes hostis onde o homem não possa se encontrar (e.g. operações espaciais) ou onde sua presença incorra em risco a sua saúde (e.g. locais contaminados por substâncias tóxicas, explosivos ou radioatividade).

Um problema importante, no que diz respeito aos sistemas autônomos de navegação, é o planejamento automático de rotas. Dada a posição inicial do robô móvel, a posição final para onde se pretende que ele vá e um mapa dos obstáculos, o robô deverá ser capaz de traçar um caminho que o conduza da posição inicial à

posição final evitando todos os obstáculos. Ao se considerar a representação do ambiente através de um mapa de obstáculos está se assumindo que o ambiente em questão seja estruturado.

Os esforços realizados anteriormente para se classificar o conhecimento necessário a representação do problema podem ser classificados em duas direções: uma inicial centrada exclusivamente no objeto e uma segunda centrada nos espaços livres. Na primeira direção merece destaque os trabalhos de Lozano-Pérez (1979) e Moravec (1980). Lozano-Pérez procura reduzir o robô a uma fonte pontual e expandir os obstáculos de acordo com a forma do robô. Feito isso pode-se encontrar um caminho através de uma busca no grafo de visibilidade onde os arcos indicam linhas retas, livres de colisão, ligando dois vértices de obstáculos poligonais estendidos. Moravec usa de idéias similares mas envolve o robô e os obstáculos com círculos ao invés de polígonos. Na segunda direção merecem destaque os trabalhos de Brooks (1983) e Chatila (1982). Brooks utiliza-se de cones generalizados para representar o espaço livre. Os eixos desses cones generalizados representam caminhos naturais pelos quais o objeto pode se movimentar. Com isso pode-se criar um grafo de conectividade onde cada nó corresponde a interseção de dois eixos de cones generalizados e cada arco corresponde ao eixo do cone.

Chatila procura resolver o problema dividindo o ambiente em polígonos convexos. Esses polígonos apresentam a propriedade de que quaisquer dois pontos que lhe sejam internos podem ser ligados por uma reta sem interseccionar nenhum dos lados. Isto significa que dentro de uma região, demarcada por um polígono convexo, o robô pode se deslocar livremente sem correr o risco de esbarrar em algum obstáculo. Um exemplo de

como se dividir o ambiente pode ser encontrado na Figura 1.

A partir da divisão do ambiente, Chatila constrói um grafo de conectividade onde cada nó representa um polígono convexo e cada arco corresponde ao segmento de reta comum a dois polígonos. A Figura 2 apresenta o grafo de conectividade para a divisão realizada na Figura 1. A busca de um caminho transforma-se simplesmente em uma busca no grafo. O problema maior é como fazer a partição do ambiente.

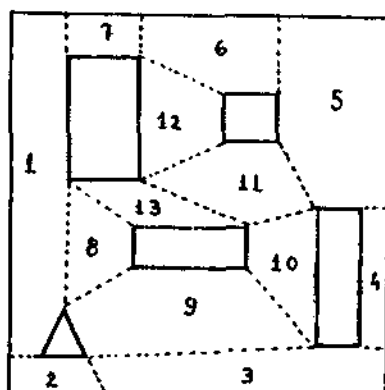


Figura 1

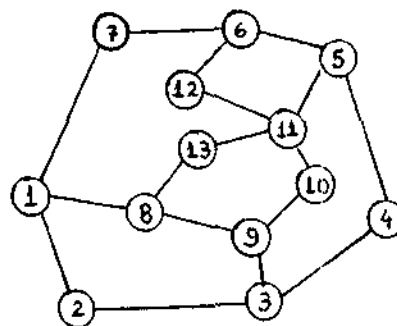


Figura 2

Embora em alguns casos mais simples isso possa parecer trivial é difícil explicitar qual é o conhecimento usado para se obter sempre uma divisão do ambiente. Para tanto propõe-se um estudo detalhado do problema onde nas próximas seções procura-se identificar o conhecimento geométrico básico que é necessário para uma estratégia de raciocínio geométrico a fim de que para qualquer ambiente estruturado seja possível obter uma divisão em polígonos convexos.

2 - CONCEITOS GEOMÉTRICOS BÁSICOS

De modo a permitir a divisão do ambiente em polígonos convexos, os objetos são representados no Mapa Representacional do Ambiente (MRA) como polígonos, convexos ou não. Seus vértices e as ligações entre eles são as principais primitivas a serem utilizadas para a

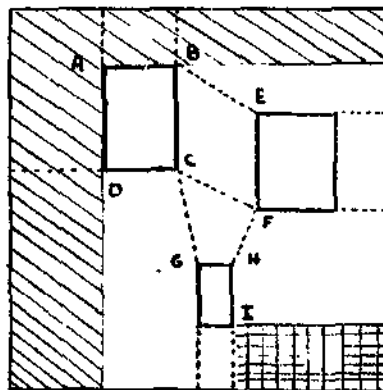
divisão do ambiente. Em razão disso faz-se necessário formalizar alguns conceitos como: ângulo legal, ângulo de visibilidade, vértice legal e segmentos vizinhos de uma ligação.

* Ângulo legal de um vértice: é o ângulo (externo ao objeto) formado pela extensão dos segmentos formadores daquele vértice (ver Figura 3, vértice I). Não se aplica para vértices côncavos.

* Ângulo de visibilidade de um vértice: é o ângulo (externo ao objeto) formado pelos segmentos formadores daquele vértice (ver Figura 3, vértice A).

* Vértice legal: é todo aquele vértice, visível ou não, que esteja dentro do ângulo legal.

* Segmentos vizinhos de uma ligação: conjunto formado pelos quatro segmentos mais próximos à ligação (dois por vértice, um de cada lado). A partir da Figura 3 pode-se observar que quatro segmentos partem do vértice C: CB, CF, CG e CD. Os segmentos CB e CD são lados do objeto enquanto os segmentos CF e CG representam ligações. Dessa forma os segmentos CB e CG representam os dois segmentos vizinhos da ligação CF referentes ao vértice C.



Figura, 3

3 - CONHECIMENTO NECESSÁRIO PARA A DIVISÃO DA REGIÃO EM POLÍGONOS CONVEXOS

A manipulação destes conceitos geométricos básicos a fim de permitir a descoberta de ligações entre vértices dos objetos ou vértice e parede, pode em princípio ser resumida através da aplicação de apenas o seguinte par de regras:

1. Ligar cada vértice convexo, vo , de um objeto ao vértice legal convexo mais próximo, vf . O vértice vo deve encontrar-se obrigatoriamente dentro do ângulo de visibilidade do vértice vf .
2. Caso a regra anterior não possa ser aplicada deve-se usar o menor segmento dentro do ângulo legal que o ligue a uma parede do compartimento.

Na Figura 3 é apresentado um exemplo da aplicação das regras acima para gerar a divisão do ambiente. A utilização somente destas duas regras pode, mesmo em casos simples como o da Figura 3, levar a geração de polígonos contíguos que possam ser unidos para gerarem polígonos convexos maiores. A representação desses polígonos (regiões) convexos pode provocar um aumento desnecessário do número de nós no grafo de conectividade e deve ser na medida do possível evitada com a tentativa de unir polígonos convexos contíguos em novos polígonos convexos maiores.

Com a atenção voltada para esta melhoria pode-se explicitar mais uma condição que, quando satisfeita, permitirá a exclusão de ligações gerando assim polígonos convexos maiores e conseqüentemente um menor número de regiões no grafo. Essa condição pode ser descrita da seguinte forma:

3. Toda ligação cujos ângulos formados pelos segmentos vizinhos dessa ligação forem, cada um, inferiores a 180° são dispensáveis e devem ser excluídas.

A partir dessa nova regra podemos excluir a ligação CF no exemplo da Figura 3.

4 - CASOS PATOLÓGICOS

Embora as duas primeiras regras sejam suficientes para resolver uma grande variedade de casos, existem outros, aqui chamados de patológicos, para os quais faz-se necessário acrescentar novos conhecimentos de modo a resolver o problema.

As regras 1 e 2 só são válidas no caso de ligações que não interseccionem algum objeto ou outra ligação qualquer existente dentro do ângulo legal. Esta restrição faz-se necessária de modo a evitar que seja feita uma ligação como a mostrada na Figura 4a.

Neste caso deve-se adotar o procedimento descrito pelos seguintes passos:

- I. Determinar o lado do objeto (ou obstáculo) ou a ligação que intercepte o segmento imaginário vo-vf e lhe seja mais próximo.
- II. Determinado o lado, no caso de objeto, ligar vo ao vértice deste lado que apresente menor deflexão angular em relação ao segmento imaginário vo-vf. Na Figura 4b pode-se observar que o ângulo BAC é menor que o ângulo BAD. Daí escolher-se a ligação BAC.
- IIa. No caso de ligação, observar se a ligação existente é mais comprida que a ligação desejada ou se a ligação existente é uma ligação com a

parede do ambiente. Em caso afirmativo, desfazer a ligação existente (nesse caso os vértices da ligação existente voltam a condição inicial e a regra 1 deve ser refeita para cada um deles a menos que possuam outras ligações dentro do seu ângulo legal) e reaplicar a regra 1 para o vértice vo (nesse caso o passo III não deve ser executado). Em caso negativo, ligar vo ao vértice da ligação que apresente menor deflexão angular em relação ao segmento imaginário vo-vf.

No caso de haver algum objeto ou ligação que intercepte a ligação proposta pelos passos II ou IIa, voltar recursivamente aos passos I, II e IIa substituindo o texto "segmento imaginário vo-vf" do passo I pelo texto "segmento imaginário idealizado anteriormente" até que a ligação proposta seja exequível (vide Figura 4c).

III. Reaplicar a regra 1 ao vértice vo considerando agora como ângulo legal o ângulo externo ao objeto formado pela extensão da ligação recém-feita com a extensão do lado que forma um ângulo superior a 180° com a ligação recém-feita (ver Figura 4d).

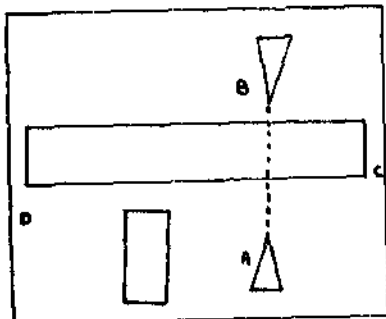


Figura 4a

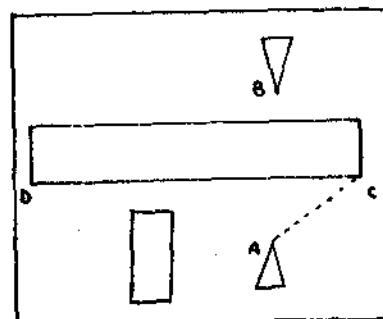


Figura 4b

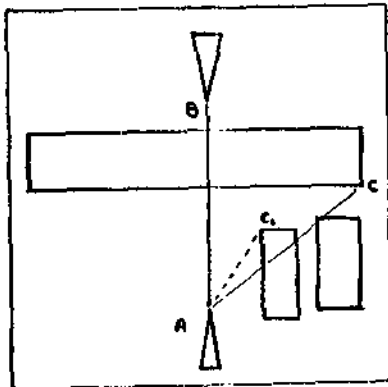


Figura 4c

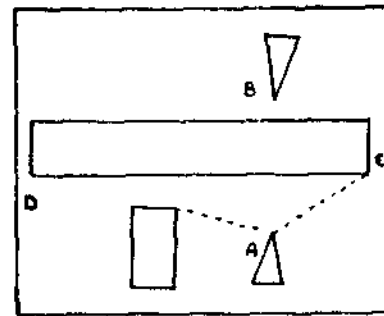


Figura 4d

5 - CONCLUSÃO

Os conceitos geométricos formalizados nesse artigo representam o conhecimento necessário para a divisão do ambiente em polígonos convexos. Com isso essa tarefa pode ser automatizada e a busca de um caminho facilitada para uma simples busca no grafo de conectividade. Os conceitos firmados aqui podem também ser usados para a divisão de ambientes onde existam objetos côncavos sem qualquer problema. O programa que realiza a divisão encontra-se implementado na linguagem OPS5 e apresenta aproximadamente 100 regras. A existência de um número de regras tão maior que o número de regras propostas aqui deve-se ao fato que muitas das regras dizem respeito a manipulação dos dados e ao fato de que algumas regras precisam ser decompostas em um número maior de regras mais simples para que se possa usar o OPS5.

6 - AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Dr. Flávio Roberto Dias Velasco pela ajuda prestada com o interpretador OPS-5.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brooks, R. A. (1983). "Solving the Find-Path Problem by Good Representation of Free Space". IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-13, No. 2: 190-197.

Chatila, R. (1982). "Path Planning and Environment Learning in a Mobile Robot System". Proceedings ECAI-82: 211-215.

Lozano-Pérez (1979). "Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among Polyhedral Obstacles". Communications of the ACM, Vol. 22, No. 10: 560-570.

Moravec, H. P. (1980). "Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Robot Rover". Stanford University Tech. Rep., AIM-340.

...





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROPOSTA PARA
PUBLICAÇÃO

- ☐ DISSERTAÇÃO
☐ TESE
☒ RELATÓRIO
☐ OUTROS

TÍTULO

Diágn. heurística de um ambiente em polígonos
convexos p/ auxílio a navegação de um robô móvel

AUTOR(ES)

C. A. M. Nogueira
V. Rodrigues

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

DIVULGAÇÃO

☒ EXTERNA ☐ INTERNA ☐ RESTRITA

EVENTO/MEIO

☒ CONGRESSO ☐ REVISTA ☐ OUTROS

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

— / — / —

— / — / —

NOME DO REVISOR

NOME DO RESPONSÁVEL

F. E. C. Vilela

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

— / — / —

— / — / —

APROVADO

DATA

ASSINATURA

☐ SIM

☐ NÃO

— / — / —

Nº

PRIOR.

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

— / — / —

— / — / —

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRU-
ÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

PÁG.

DEVOLVIDO

ASSINATURA

— / — / —

— / — / —

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILÓGRAFA

— / — / —

Impelma

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

Nº DA PUBLICAÇÃO:

PÁG.:

CÓPIAS:

Nº DISCO:

LOCAL:

☐ SIM

☐ NÃO

— / — / —

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Submetido p/ ao SBIA